

JOSÉ AUGUSTO COELHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE RESIDÊNCIAS:
RESULTADOS MEDIDOS E SIMULADOS**

**CURITIBA
2004**

JOSÉ AUGUSTO COELHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE RESIDÊNCIAS:
RESULTADOS MEDIDOS E SIMULADOS**

Dissertação apresentada como requisito à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica, programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. -Ing.- Paulo H. T.
Zannin

**CURITIBA
2004**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus
pais e à minha noiva Tatiana

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por sempre ter me apoiado.

Agradeço a minha noiva Tatiana por estar sempre me incentivando.

Agradeço aos meus amigos do curso de Mestrado Fabiano Belisário Diniz e Elaine Carvalho da Paz pelo valioso apoio que me ofereceram durante a elaboração deste trabalho e de outros durante o curso.

Agradeço as bolsistas de iniciação científica Caroline Ganzert Afonso e Carolina Reiche Marcon pela maneira prestativa com que me ajudaram.

Agradeço ao meu amigo Marcelo Coletti pelo incentivo e compreensão.

Agradeço a todas as pessoas que permitiram a execução de medições em suas residências possibilitando a realização deste trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – Capes – pela concessão da bolsa de Mestrado.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, ao Deutscher Akademischer Austauschdienst – DAAD, a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná e a Fundação de Desenvolvimento Acadêmico da UFPR, por todos os materiais e equipamentos fornecidos, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Agradecimentos especiais ao meu orientador Prof. Dr. -Ing.- Paulo Henrique Trombetta Zannin por ter me orientado neste trabalho e por ter me ajudado como um grande amigo desde que nos conhecemos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVO.....	03
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
3.1. ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	04
3.1.1. Ruído Aéreo.....	04
3.1.2. Ruído de Impacto.....	05
3.2. ISOLAÇÃO ACÚSTICA.....	06
3.2.1. Isolação de Paredes.....	06
3.2.1.1. Paredes Simples.....	06
3.2.1.2. Paredes Duplas.....	08
3.2.1.3. Paredes Compostas.....	09
3.2.2. Isolação de Portas.....	10
3.2.3. Isolação de Janelas.....	10
3.3. MEDIÇÕES DE PARÂMETROS ACÚSTICOS.....	11
3.3.1. Medições em Laboratório da Isolação Sonora de Ruído Aéreo.....	11

3.3.2. Medição em Campo do Isolamento Sonoro de Ruído Aéreo.....	13
3.3.3. Medição em Campo do Índice de Isolamento Acústico de Fachadas.....	16
3.3.4. Medição de Parâmetros de Isolamento Acústico pelo Método da Intensidade.....	18
3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE UTILIZAÇÃO DE NÚMERO ÚNICO PARA AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	20
3.4.1. Classe de Transmissão Sonora.....	20
3.4.2. Número Único Segundo ISO-717.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1. INTRODUÇÃO.....	23
4.2. MEDIÇÃO EM CAMPO DOS COEFICIENTES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	25
4.3. SIMULAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO...	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1. RESIDÊNCIA 1.....	32
5.2. RESIDÊNCIA 2.....	35
5.3. RESIDÊNCIA 3.....	37
5.4. RESIDÊNCIA 4.....	39
5.5. RESIDÊNCIA 5.....	41
5.6. RESIDÊNCIA 6.....	43
5.7. RESIDÊNCIA 7.....	45
5.8. RESIDÊNCIA 8.....	47
5.9. RESIDÊNCIA 9.....	49
5.10. RESIDÊNCIA 10.....	51

5.11. RESIDÊNCIA 11.....	53
6. ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	56
6.1. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SOFTWARE BASTIAN NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE OS CÔMODOS DAS EDIFICAÇÕES AVALIADAS.....	56
6.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SOFTWARE BASTIAN NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS FACHADAS AVALIADAS.....	59
6.3. AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE OS CÔMODOS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS.....	61
6.4. AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS FACHADAS AVALIADAS.....	64
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
7.1. CONCLUSÕES.....	67
7.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICE I.....	74
APÊNDICE II.....	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CAMINHOS DE TRANSMISSÃO DO RUÍDO AÉREO.....	05
FIGURA 2 - FONTES GERADORAS DE RUÍDOS DE IMPACTO EM EDIFÍCIOS.....	06
FIGURA 3 - CURVA TÍPICA DE PERDA DE TRANSMISSÃO PARA PAREDE SIMPLES.....	07
FIGURA 4 - COMPONENTES DA POTÊNCIA TRANSMITIDA PARA A SALA RECPTORA.....	14
FIGURA 5 - SONDA DE INTENSIDADE.....	19
FIGURA 6 - MODELO PARA OBTENÇÃO DO NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISO-717.....	22
FIGURA 7 - MAPA DA CIDADE DE CURITIBA COM A LOCALIZAÇÃO DAS RESIDÊNCIAS.....	24
FIGURA 8 - SISTEMA DE MEDIÇÃO UTILIZADO.....	26
FIGURA 9 - MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO DE FACHADAS.....	28
FIGURA 10 - CABO PLANO.....	28
FIGURA 11 - GRÁFICO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO.....	29
FIGURA 12 - TELA DE TRABALHO DO PROGRAMA BASTIAN.....	31
FIGURA 13 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 1.....	33
FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 2.....	35
FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 3.....	37
FIGURA 16 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 4.....	39
FIGURA 17 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 5.....	41
FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 6.....	43

FIGURA 19 -	LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 7.....	45
FIGURA 20 -	LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 8.....	48
FIGURA 21 -	LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 9.....	50
FIGURA 22 -	LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 10.....	52
FIGURA 23 -	LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 11.....	54
FIGURA 24 -	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MEDIDOS E SIMULADOS ENTRE CÔMODOS.....	56
FIGURA 25 -	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MEDIDOS E SIMULADOS DAS FACHADAS.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CLASSE DE CONTROLE DE RUÍDO PARA JANELAS.....	11
TABELA 2 -	CORREÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO DEVIDO AO RUÍDO DE FUNDO.....	16
TABELA 3 -	DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO DE FACHADAS.....	17
TABELA 4 -	VALORES DE REFERÊNCIA DA CURVA CTS PADRÃO.....	20
TABELA 5 -	VALORES DE REFERÊNCIA SEGUNDO ISO 717.....	21
TABELA 6 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 1.....	32
TABELA 7 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 1.....	34
TABELA 8 -	NÍVEIS EXIGIDOS PELA DIN 4109.....	34
TABELA 9 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 2.....	36
TABELA 10 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 2.....	36
TABELA 11 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 3.....	38
TABELA 12 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 3.....	38
TABELA 13 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 4.....	40
TABELA 14 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 4.....	40
TABELA 15 -	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 5.....	42

TABELA 16 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 5.....	42
TABELA 17 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 6.....	44
TABELA 18 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 6.....	44
TABELA 19 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 7.....	46
TABELA 20 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 7.....	46
TABELA 21 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 8.....	47
TABELA 22 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 8.....	49
TABELA 23 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 9.....	50
TABELA 24 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 9.....	51
TABELA 25 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 10.....	52
TABELA 26 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 10.....	53
TABELA 27 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 11.....	54
TABELA 28 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 11.....	55
TABELA 29 - RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DO ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO ENTRE OS CÔMODOS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS.....	61

TABELA 30 - RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS FACHADAS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS.....	64
--	----

LISTA DE SIGLAS

OMS	- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE
WHO	- WORLD HEALTH ORGANIZATION
ISO	- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION
EN	- EUROPEAN NORM
DIN	- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
STC	- SOUND TRANSMISSION CLASS
CTS	- CLASSE DE TRANSMISSÃO SONORA
UFPR	- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LISTA DE SÍMBOLOS

R	-	ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA, DETERMINADO EM LABORATÓRIO
R_w	-	ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA, DETERMINADO EM LABORATÓRIO – NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISO 717
D_nT	-	DEIFERENÇA DE NÍVEL SONORO NORMALIZADO
R'	-	ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE, DETERMINADO EM CAMPO
R'_w	-	ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE, DETERMINADO EM CAMPO – NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISO 717
I	-	INTENSIDADE SONORA [Watts/m ²]
$R'_{tr,s}$	-	ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE, MEDIDO EM CAMPO PARA FACHADAS (UTILIZANDO O RUÍDO DE TRÁFEGO COMO FONTE EXTERNA)
$R'_{tr,sW}$	-	ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA APARENTE, MEDIDO EM CAMPO PARA FACHADAS (UTILIZANDO O RUÍDO DE TRÁFEGO COMO FONTE EXTERNA) - NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISSO 717
T^2	-	T-HOTTELLING

RESUMO

O presente trabalho determinou, através de medições *in situ*, os coeficientes de isolamento acústico de fachadas e entre os cômodos de residências compostas por elementos construtivos amplamente utilizados na construção civil brasileira. O modelo tomado foi o universo construtivo da cidade de Curitiba. Também fez parte do escopo deste trabalho comparar os coeficientes medidos a coeficientes simulados com a utilização do software *Bastian*, que tem seu método de cálculo baseado no conjunto de normas européias EN 12354 (2000). Constatou-se que, em todas as residências avaliadas, os índices de redução sonora entre os cômodos analisados e nas fachadas avaliadas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis. Também se pôde verificar não haver diferença significativa entre os coeficientes de isolamento medidos nas residências de alto padrão dos medidos nas residências de padrão popular. Com relação a utilização do software *Bastian*, verificou-se que este apresentou um bom desempenho tanto na simulação dos coeficientes de isolamento acústico das fachadas como entre os cômodos das residências avaliadas.

Palavras-chave: isolamento acústico, EN 12354, acústica das edificações.

ABSTRACT

The present survey has determined, through in situ measurements, the acoustical insulation coefficients of facades between rooms of residences compounded by spreadly used constructive elements in the Brazilian civil construction. The model considered was the construction universe of the city of Curitiba. This survey was also focused on comparing the measured coefficients with the simulated ones by the software Bastian, which has a calculus method based on a set of European standards EN 12354 (2000). It has been shown up that, in every evaluated residence, the noise reduction index between analyzed rooms and facades have presented values below the accepted ones. It has also been shown up that there was no significant difference between the insulation coefficients measured in high-standard residences and in popular-standard residences. Regarding the usage of Bastian software, it has been verified that it had presented a good performance in simulating both the acoustical insulation coefficients between facades and between rooms of the evaluated residences.

Key-words: acoustical insulation, EN 12354, building acoustics.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora é hoje, segundo a Organização Mundial da Saúde – O.M.S., o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no mundo, depois da poluição do ar proveniente de emissões gasosas e da poluição da água (W.H.O., 2003).

O crescimento das cidades, o aumento no número de automóveis e aeronaves que trafegam no perímetro urbano das metrópoles, vem contribuindo para elevar ainda mais a emissão do ruído no meio urbano. Vários pesquisadores têm buscado caracterizar este ruído e identificar os malefícios que os mesmos acarretam aos seres humanos, (ZANNIN *et. al.*, 2002; ZANNIN *et. al.*, 2001; MASCHKE, 1999; KAGEYAMA *et. al.* 1997; OSADA *et. al.*, 1997; YOSHIDA *et. al.*, 1997; SAADU *et. al.*, 1996; GARCÍA *et. al.*, 1992).

Estes trabalhos vêm mostrando um crescente número de reclamações da população urbana em todos os continentes devido ao incômodo que o ruído lhes causa e, identificando os diversos malefícios que a exposição ao ruído urbano acima de 65 dB(A) pode trazer às pessoas, tais como: irritabilidade, aumento da pressão arterial, dor de cabeça, insônia, estresse, liberação de hormônios e outros.

Outra constatação apresentada por esses trabalhos é que o ruído de tráfego é considerado pela população como o principal causador de incômodo relacionado ao ruído. Por exemplo, no trabalho realizado por ZANNIN *et. al.* (2002), onde foram realizadas entrevistas junto à população de Curitiba, 73% dos respondentes apontaram o ruído de tráfego como principal fonte de incômodo, seguido pelo ruído gerado pelos vizinhos, com 38%.

Considerando-se que tanto o ruído de tráfego, bem como os ruídos de vizinhança, incomodam as pessoas no interior de suas residências, é possível constatar que estas não vêm apresentando um bom desempenho quanto a uma de suas finalidades, que é a de proporcionar conforto acústico a seus ocupantes. Este fato é ainda mais crítico em países como o Brasil, que ao contrário de países como a França,

Alemanha, Estados Unidos e Espanha, não possui normas que especifiquem os valores mínimos de isolamento acústico que as moradias devam apresentar.

O Brasil carece também de uma norma que apresente um método para efetuar a simulação do nível de isolamento acústico de uma residência, ainda na fase de projeto.

Baseado no exposto acima este trabalho pretende avaliar o isolamento acústico de residências edificadas com materiais construtivos amplamente utilizados no Brasil e, também, verificar a aplicabilidade do software *Bastian*, que tem seu método de cálculo baseado no conjunto de normas européias EN 12.354 (E.N., 2000), na simulação do nível de isolamento acústico das edificações brasileiras.

Esta verificação se torna necessária, pois existem diferenças significativas entre o método construtivo adotado no Brasil e o utilizado nos países europeus, e principalmente, entre os elementos construtivos que compõem as edificações nas duas regiões, devido às especificidades de cada região e, principalmente, ao clima tropical brasileiro, como também, a diferença sócio-econômica entre a Europa e o Brasil.

Outra dificuldade encontrada para a aplicação da norma supracitada no Brasil é a falta dos coeficientes de isolamento acústica dos elementos construtivos comercializados no país, pois os parâmetros obtidos dos ensaios de isolamento acústica destes elementos, realizados em laboratórios, são os principais dados de entrada no processo de cálculo.

2. OBJETIVO

Este trabalho consistiu na realização de medições dos coeficientes de isolamento de ruído aéreo *in situ*, seguindo os preceitos das normas ISO 140-5 (ISO, 1998), para fachadas, e ISO 140-4 (ISO, 1998), para isolamento entre os cômodos das edificações. Estes resultados são apresentados em forma de números únicos, conforme preconiza a norma ISO 717-1 (ISO, 1996).

O objetivo da realização destas medições é avaliar o desempenho quanto ao isolamento acústico de fachadas e de partições internas de residências, compostas por elementos construtivos amplamente utilizados na construção civil brasileira, tomando como modelo o universo construtivo da cidade de Curitiba.

Faz parte também dos objetivos deste trabalho efetuar a comparação dos resultados medidos com resultados simulados, com a utilização do software *Bastian 2.0*, que utiliza o método de cálculo da norma europeia de predição acústica EN 12.354 (E.N., 2000). Esta comparação tem o intuito de verificar o resultado da aplicação da referida norma, para simular os coeficientes de isolamento do ruído aéreo nas edificações brasileiras.

Considerando que as residências no Brasil apresentam diferenças significativas das edificadas na Europa, esta avaliação se torna importante para que se possa verificar a possibilidade de uso desta ferramenta no país, bem como para analisar o desempenho que este método apresenta quando utilizado no Brasil.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. ISOLAMENTO ACÚSTICO

Segundo BARING (1988), o termo “isolamento acústico” refere-se ao nível de perda de transmissão do conjunto dos elementos construtivos da edificação (paredes, lajes, janelas e portas), se diferenciando do termo “isolação sonora”, que apresenta o valor da perda de transmissão de um elemento isolado.

Uma parcela importante que não deve ser negligenciada, pois pode ser responsável por grande parte da energia acústica transmitida através do paramento de separação, é a das imperfeições construtivas (juntas, canalizações, frestas, etc.) (ARIZEMENDI, 1980).

O isolamento de ruído pode ser denominado, de acordo com seu meio de propagação, em: 1) aéreo, quando a fonte de propagação atua diretamente no ar, por exemplo, vozes e instrumentos musicais; 2) impacto, quando a fonte geradora atua diretamente sobre a estrutura, por exemplo, ruído gerado por bombas de água e por passos sobre um piso (SILVA, 2000).

3.1.1. Ruído Aéreo

Quando as ondas sonoras atingem uma parede, parte da energia é refletida outra parte é armazenada em seu interior, isso faz com que a parede vibre e se converta em uma fonte de ruído. Este ruído é irradiado com a mesma frequência do som incidente, porém, seu nível de ruído é mais baixo que o nível do som incidente (FASOLD & VERES, 2003, 1998; MEISSER, 1973).

Se a fonte sonora está inserida no interior da habitação, esta faz vibrar todas as paredes da habitação (MEISSER, 1973). Na Figura 1 são apresentados os caminhos percorridos pela energia sonora de maneira direta, através do elemento de separação

entre os cômodos, e indireta, pela energia sonora que é transmitida através das paredes laterais da laje e do piso. Estas duas parcelas compõem o total da energia transmitida do cômodo 1 para o cômodo 2 (METZEN, 2002; MEISSER, 1973).

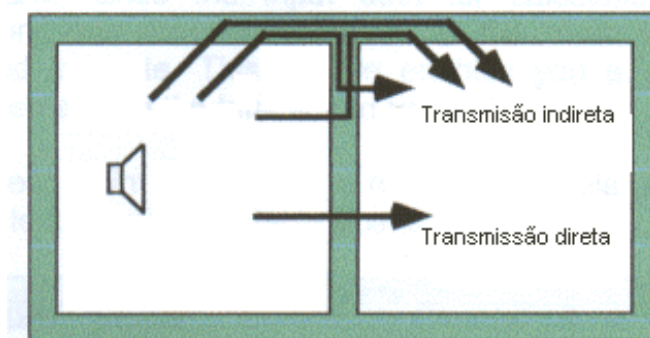


FIGURA 1 - CAMINHOS DE TRANSMISSÃO DO RUÍDO AÉREO. (FONTE: METZEN, 2002).

3.1.2. Ruído de Impacto

Ruídos de impacto são sons produzidos por uma excitação mecânica aplicada, em um curto período de tempo, diretamente na estrutura e que se propaga através desta, causando vibração e irradiando energia no ambiente receptor (FASOLD & VERES, 2003; MENDEZ *et. al.*, 1994). Alguns exemplos de ruído de impacto são: passos sobre a laje, martelada e queda de objetos sobre o piso.

Em um edifício, são várias as fontes geradoras de ruído de impacto, como se pode verificar na Figura 2. Segundo HARRIS (1998), estes se propagam pela estrutura com muito pouca atenuação, fato que ocorre, segundo GERGES (1992), devido aos elevados valores de densidade e de velocidade do som nos materiais sólidos.

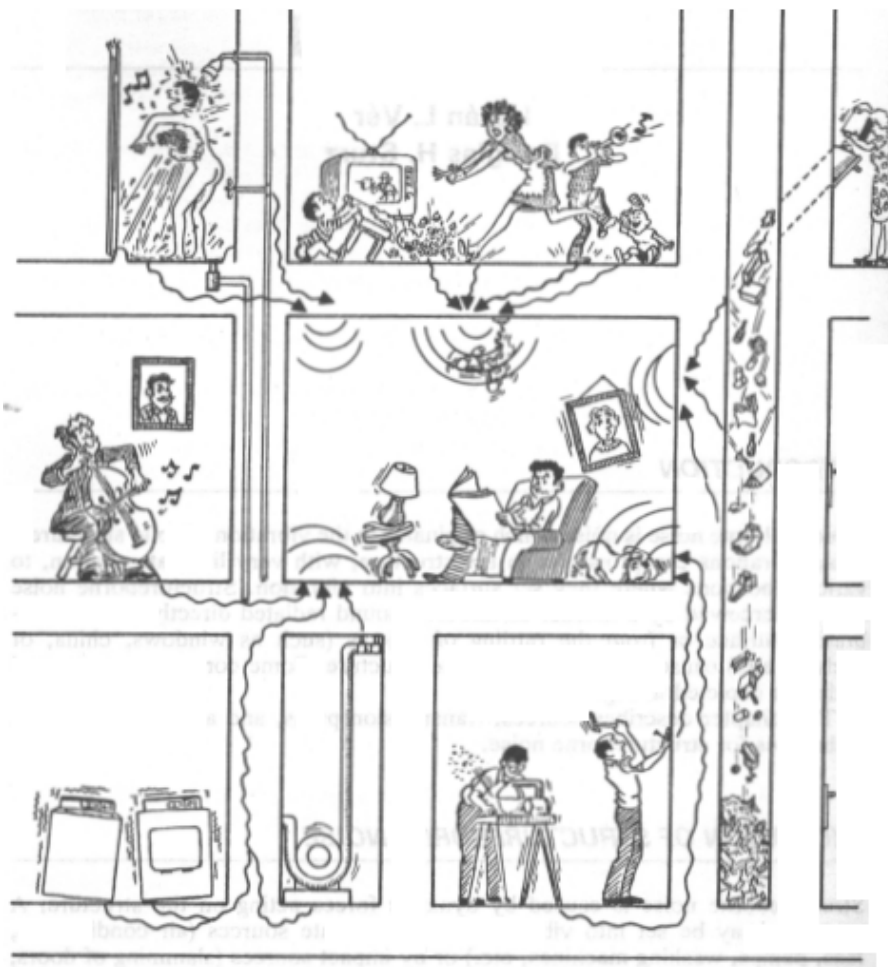


FIGURA 2 - FONTES GERADORAS DE RUÍDOS DE IMPACTO EM EDIFÍCIOS.
(FONTE: HARRIS, 1998).

3.2. ISOLAÇÃO ACÚSTICA

3.2.1. Isolação de Paredes

3.2.1.1. Paredes Simples

São denominadas como simples, paredes homogêneas e com espessuras constantes. Para este tipo de parede, o nível de isolamento é função da massa do elemento e da frequência do som que vier a atingir a parede, conforme se pode perceber observando a Figura 3, que apresenta a curva típica de uma parede simples.

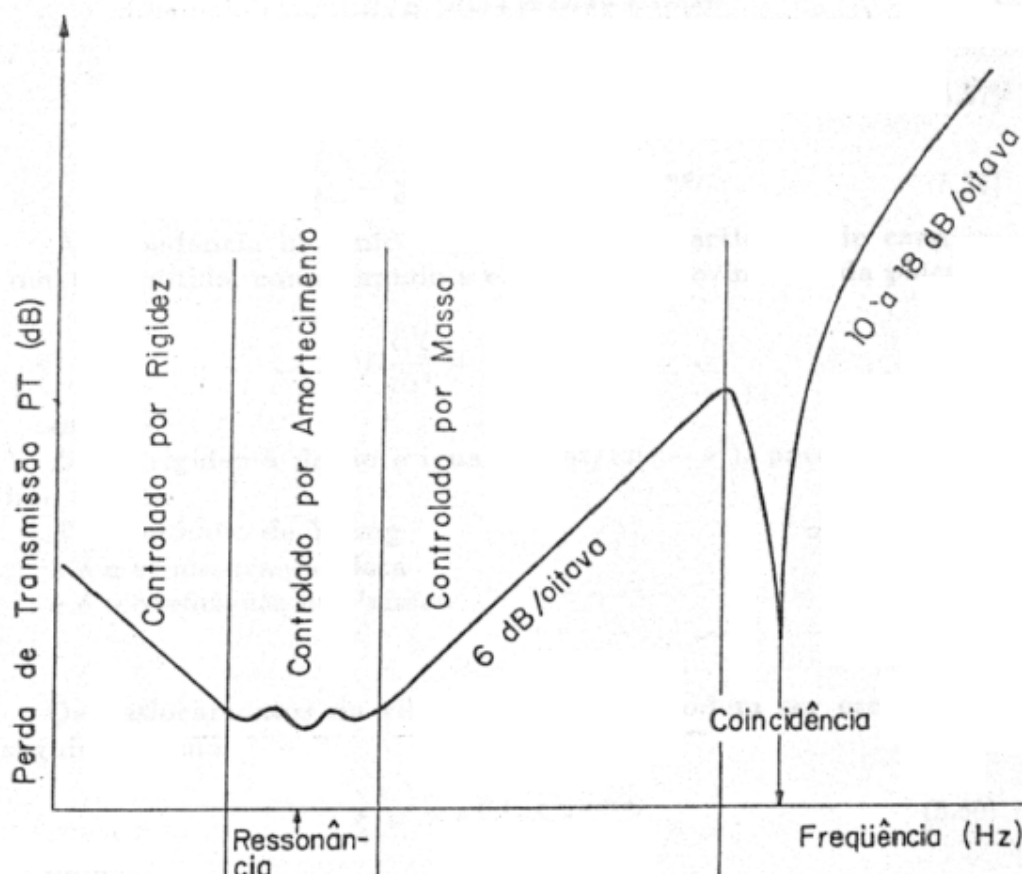


FIGURA 3 - CURVA TÍPICA DA PERDA DE TRANSMISSÃO PARA PAREDE SIMPLES.
(FONTE: GERGES, 1992).

Uma teoria amplamente utilizada para prever o coeficiente de isolamento sonora em paredes simples é a da “Lei da Massa” ou “Lei de Berger”, que apresenta um bom desempenho segundo diversos autores, como SILVA (2000), HECKL (1980) e BERANEK (1960), tendo este primeiro realizado um trabalho comparando estatisticamente os resultados medidos em laboratório com os modelos citados por três autores: MENDEZ *et. al.* (1994), GERGES (1992), SANCHO & SHENCHERMES (1982).

Existem também outros métodos para a predição do índice de isolamento de paredes simples, como os de *Feshbach*, *Cremer*, *Josse*, *Brüel*, *Savioli*, *Meisser* e o Método Estatístico Energético. Estes foram avaliados por LARANJA (2000), através da comparação entre resultados medidos e simulados. Como resultado desse trabalho, LARANJA (2000) conclui que dependendo do material a ser estudado e da frequência

a ser analisada, os diferentes métodos podem apresentar resultados condizentes ou não. Sendo que, o que se mostrou mais eficiente para todos os materiais e frequências avaliadas foi o Método do Patamar.

3.2.1.2. Paredes Duplas

O uso de paredes duplas ou triplas, segundo GERGES (1992), é a melhor opção quando se quer obter alta perda de transmissão, sem a utilização de paredes com grande massa.

De acordo com BATISTA (1998), os fatores que determinam a qualidade de uma parede dupla são: tipo de material, sistema de montagem das paredes, espessura da lâmina de ar e o coeficiente de absorção do material, colocado na câmara de ar para diminuir a ressonância.

Para garantir a eficiência deste tipo de composição é sugerido por vários autores (BATISTA, 1998; GERGES, 1992; MEISSER, 1973), que se utilizem materiais com massa e rigidez diferentes, para garantir que as paredes não possuam a mesma frequência crítica, o que faria com que elas vibssem em unísono e produzissem ressonância, causando uma baixa perda de transmissão ao conjunto.

A transmissão sonora deste tipo de estrutura é muito difícil de ser formulada matematicamente por uma expressão simples, pois depende de diferentes mecanismos de transmissão (LARANJA, 2000). Porém, concentrando-se na transmissão de um certo caminho ou grupo de caminhos, foram formulados alguns modelos simplificados e com limitações, como os métodos de *London*, *Goesele*, *Josse*, Modelo da Análise Estatística Energetica de *Craik & Wilson*, *Sharp* e *Meisser*.

Para estimar os coeficientes de isolamento neste tipo de estrutura, LIPS (1999) sugere a utilização da expressão 1, que foi obtida empiricamente.

$$R_w' = R_w^* + (100 \cdot d \cdot n \cdot c) \quad (1)$$

Onde:

- R'_{w} = Coeficiente de isolamento sonora da parede dupla;
 R^*_{w} = Coeficiente de isolamento sonora da parede simples;
 d = Distância entre as duas paredes [m];
 n = Tipo de acoplamento entre as paredes:
 $n = 1$ se acoplamento rígido;
 $n = 1,5$ se acoplamento elástico;
 $n = 2$ se as paredes não possuem meio de ligação.
 c = Tipo de material que preenche o espaço entre as paredes:
 $c = 0,8$ se câmara de ar;
 $c = 1$ se câmara preenchida com material de absorção.

3.2.1.3. Paredes Compostas

São constituídas por mais de um material. Podem apresentar coeficientes de isolamento diferentes, como por exemplo: o elemento composto por uma porta inserida em uma parede de alvenaria.

LIPS (1999) sugere a utilização da expressão 2 para calcular os coeficientes de isolamento acústico resultantes das paredes compostas.

$$R'_{w,res} = R'_{w,1} - 10 \log \left\{ 1 + \frac{S_2}{S_{Total}} \cdot \left(10^{0,1(R'_{w,1} - R'_{w,2})} - 1 \right) \right\} \quad (2)$$

Onde:

- $R'_{w,res}$ = Coeficiente de isolamento resultante da parede composta;
 $R'_{w,1}$ = Coeficiente do material que apresenta maior isolamento;
 $R'_{w,2}$ = Coeficiente do material que apresenta menor isolamento;
 S_2 = Área do material que apresenta menor isolamento;
 S_{Total} = Área total da parede composta.

3.2.2. Isolação de Portas

As portas são geralmente elementos acusticamente fracos, pois normalmente seus índices de isolamento são menores que os das paredes em que elas se encontram inseridas. Isto se deve ao fato de que elas possuem massas superficiais menores que as das paredes e, também, devido às frestas que existem entre as portas e os caixilhos.

O principal caminho de transmissão de ruído por este tipo de elemento se dá através das frestas, principalmente, segundo SILVA (2000), da fresta inferior que, geralmente, apresenta para as portas usuais uma abertura da ordem de 1 cm, o que faz com que o índice de isolamento deste tipo de porta não ultrapasse 20 a 25 dB(A), qualquer que seja o material que a componha.

Para se conseguir desempenho melhor, deve-se utilizar portas com sistema construtivo e de vedação especiais, denominadas no Brasil de portas acústicas.

3.2.3. Isolação de Janelas

As janelas são geralmente os pontos mais vulneráveis à passagem do som nas fachadas, sendo, portanto, os elementos responsáveis por definir o coeficiente de isolamento ao ruído externo das edificações (FASOLD & VERES, 1998).

Estudos realizados por vários pesquisadores (RECCHIA, 2001; SANTOS & PAIXÃO, 1991; BARING, 1988), mostraram que os elementos principais, responsáveis pelos baixos índices de isolamento das janelas, são as esquadrias e não os vidros, como a maioria das pessoas supõe. Portanto, a idéia amplamente divulgada, de que a substituição do vidro da janela por um vidro duplo seria suficiente para solucionar o problema do ruído externo, é equivocada.

A pesquisa realizada por BARING (1988), onde foram avaliados vários modelos de janelas, bem como o trabalho realizado por RECCHIA (2001), que determinou em laboratório os coeficientes de redução sonora de diversos elementos que compõe as fachadas, apresentando como valor médio para as janelas de correr, que

são as mais utilizadas na construção civil brasileira, com índice de isolamento sonora de 20 dB(A), demonstraram que os modelos de janelas mais utilizados no país não apresentam desempenho satisfatório quanto a finalidade de proporcionar conforto acústico as pessoas, uma vez que estes valores estão abaixo do mínimo exigido em países como Alemanha, França, Espanha e Estados Unidos, que possuem normas que estabelecem níveis mínimos para este tipo de elemento.

Na Tabela 1 são apresentadas as classes de controle de ruído para janelas segundo a Associação dos Engenheiros Alemães (FASOLD & VERES, 1998).

TABELA 1 - CLASSE DE CONTROLE DE RUÍDO PARA JANELAS.

CLASSE DE CONTROLE DE RUÍDO	COEFICIENTES DE ISOLAMENTO MEDIDOS <i>IN SITU</i> , R'_w – NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISO 717-1	COEFICIENTES DE ISOLAMENTO MEDIDOS EM LABORATÓRIO, R_w – NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISO 717-1
1	25 a 29	≥ 27
2	30 a 34	≥ 32
3	35 a 39	≥ 37
4	40 a 44	≥ 42
5	45 a 49	≥ 47
6	≥ 50	≥ 52

FONTE: FASOLD & VERES, 1998.

3.3. MEDIÇÕES DE PARÂMETROS ACÚSTICOS

3.3.1. Medições em laboratório da Isolação Sonora de Ruído Aéreo

O procedimento para a medição em laboratório do índice de isolamento sonora de elementos construtivos, como portas, paredes, vidros e janelas, é especificado pela norma ISO 140-3 (ISO, 1998).

A norma prescreve que a câmara reverberante, em que serão efetuados os ensaios, deve possuir duas salas com volumes mínimos de 50 m³, e que apresentem uma diferença de no mínimo 10% entre seus volumes.

O som deve ser gerado na sala emissora e apresentar um espectro constante, devendo ser medido em bandas de 1/3 de oitava.

A área do material a ser ensaiado deve ser de aproximadamente 10 m² para paredes e 1,68 m² para janelas.

O “R” (índice de isolamento acústica determinado em laboratório) dos elementos construtivos é calculado pela expressão 3, por banda de frequência de 1/3 de oitava.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \left(6,15 \frac{S \cdot T}{V} \right) \quad (3)$$

Onde:

L_1 = Nível de pressão sonora médio, medido na sala de emissão (dB);

L_2 = Nível de pressão sonora médio, medido na sala de recepção (dB);

S = Área da amostra ensaiada (m²);

T = Tempo de reverberação medido na sala de recepção (s);

V = Volume da câmara de recepção (m³).

Para a medição do tempo de reverberação deve-se seguir o método prescrito pela norma ISO 354 (ISO, 1985), que prevê a realização de 3 leituras do tempo de reverberação em cada posição.

Deve-se também medir o ruído de fundo no interior da câmara de recepção, para verificar se ele atende a especificação de que deve apresentar um valor no mínimo 10 dB, abaixo do nível de pressão sonora medido na câmara, em todas as frequências.

3.3.2. Medições em campo do Isolamento Sonoro de Ruído Aéreo

Os procedimentos para a medição em campo, do índice de isolamento sonoro entre cômodos de edificações, são especificados pela ISO 140-4 (ISO, 1998), que

apresenta métodos de medição de isolamento entre ambientes de uma edificação, considerando o campo sonoro difuso em ambas as salas.

Os parâmetros obtidos através destas medições permitem determinar a proteção acústica concedida pela construção a seus ocupantes, e avaliar se os elementos construtivos estão dentro das especificações de projeto, bem como checar se ocorreram falhas durante o processo de construção.

Para determinar a proteção que a construção oferece a seus ocupantes, é adequado utilizar o parâmetro “ D_{nT} ” (diferença de nível normalizado) dado pela expressão 4:

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad (4)$$

Onde:

D = Diferença entre os níveis L_1 e L_2 (dB);

L_1 = Nível de pressão sonora médio, medido na sala de emissão (dB);

L_2 = Nível de pressão sonora médio, medido na sala de recepção (dB);

T = Tempo de reverberação, medido na sala de recepção (s);

T_0 = Tempo de reverberação de referência, igual 0,5 s para moradias.

Para avaliar o isolamento oferecido pelo conjunto dos elementos que compõem a partição de separação entre os cômodos, considerando as transmissões diretas e indiretas, se utiliza o parâmetro R' (Índice de Redução Sonora Aparente), determinado em campo através da expressão 5:

$$R' = 10 \cdot \log \frac{W_1}{W_3} \quad (5)$$

Onde:

W_1 = Potência sonora incidente;

W_3 = Potência sonora total transmitida para a sala receptora.

Geralmente, a potência total transmitida para a sala receptora possui as seguintes componentes, como se pode ver na Figura 4:

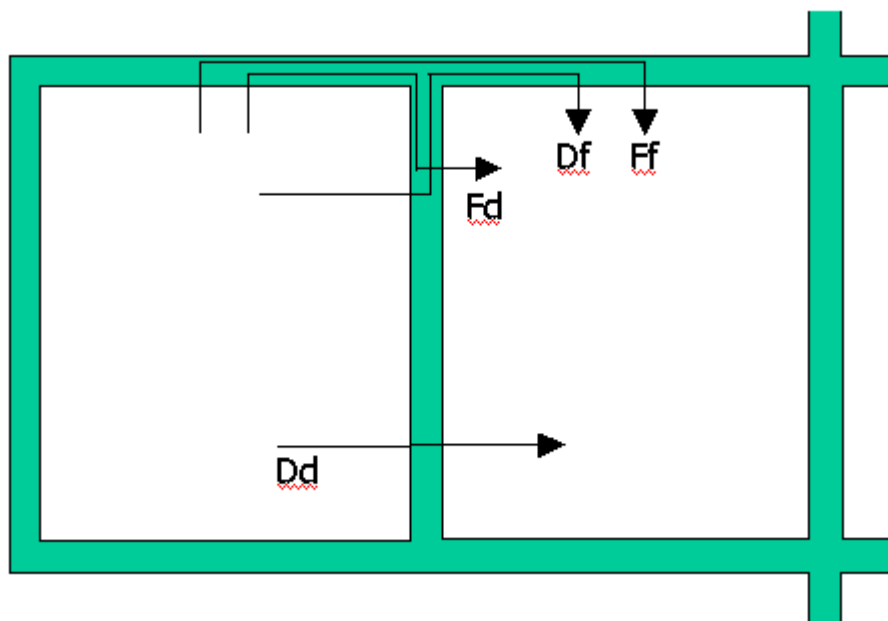


FIGURA 4 – COMPONENTES DA POTÊNCIA TRANSMITIDA PARA A SALA RECEPTORA:
(FONTE: CRAIK, 2002).

Onde:

- W_{Dd} - Parcela da potência que entra na partição diretamente e é irradiada também diretamente;
- W_{Df} - Parcela que entra na partição diretamente mas é irradiada para o ambiente através dos flancos da construção;
- W_{Fd} - Parcela que entra através dos flancos e é irradiada através da partição direta;
- W_{Ff} - Parcela que entra através dos flancos e é irradiada também através destes;
- W_{leak} - Parcela transmitida através de fendas e dutos de ventilação.

Ao se assumir o campo difuso nas duas salas, pode-se utilizar a expressão 6:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{S}{A} \quad (6)$$

Onde:

L_1 = Nível de pressão sonora médio, medido na sala de emissão (dB);

L_2 = Nível de pressão sonora médio, medido na sala de recepção (dB);

S = Área de teste (m²);

A = Absorção equivalente em área, na sala receptora (m²).

A norma sugere que cada organização determine os procedimentos para a realização dos testes, mas que obedeçam aos seguintes critérios:

- a) Em medições entre salas vazias de iguais dimensões, devem ser utilizados difusores;
- b) A fonte sonora deve ser colocada de modo a gerar um campo o mais difuso possível, e a uma distância do paramento a ser medido que faça com que a radiação direta sobre ele não seja dominante;
- c) Deve-se medir vários pontos no interior da sala, ou utilizar um microfone rotativo, sempre respeitando a distância mínima de 0,5 m entre o microfone e a parede;
- d) A área de absorção pode ser estimada através da formula de *Sabine*, porém se recomenda a utilização do método especificado pela ISO 354 (ISO, 1985).

Outro parâmetro importante que deve ser mensurado é o ruído de fundo na sala receptora, pois se a diferença entre este nível e o nível “ L_2 ” for menor que 3 dB, a medição não é valida, pois o nível “ L_2 ” não pode ser obtido. Caso esta diferença esteja entre 3 e 10 dB, deve-se corrigir os valores segundo o que estabelece a Tabela 2.

TABELA 2 - CORREÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO DEVIDO AO RUÍDO DE FUNDO.

DIFERENÇA ENTRE O NÍVEL DE PRESSÃO MEDIDO COM A FONTE OPERANDO E O RUÍDO DE FUNDO MEDIDO ISOLADAMENTE (dB)	VALOR A SER SUBTRAÍDO DO NÍVEL DE PRESSÃO, MEDIDO COM A FONTE OPERANDO PARA EFETUAR A CORREÇÃO (dB)
3	3
4 a 5	2
6 a 9	1

FONTE: ISO 140-4, 1998.

3.3.3. Medição em campo do Índice de Isolamento Acústico de fachadas

A medição em campo do índice de isolamento acústico de fachadas é estipulada pela ISO 140-5 (ISO, 1998). Esta norma especifica duas séries de métodos: 1) os métodos dos elementos e 2) os métodos globais. A Tabela 3 apresenta um resumo destes métodos.

Os métodos dos elementos são utilizados quando se quer determinar o índice de redução sonora aparente de fachadas. Esta série de métodos pode apresentar valores de isolamento de elementos de fachadas, possíveis de serem comparados a dados obtidos em laboratórios, desde que sejam atendidas as condições indicadas abaixo:

- a) A janela deve estar perfeitamente instalada e deve ter sido montada de acordo com as especificações do fabricante;
- b) O coeficiente de redução sonora da parede que compõe a fachada deve ser bem mais elevado que o coeficiente do elemento avaliado, para que a parcela do som, que se transmite pela parede da fachada, não contribua significativamente para o nível de pressão sonora medido no ambiente de recepção;
- c) A área da janela avaliada deve ser compatível a área de janela utilizada no teste de laboratório, que é estipulada pela ISO 140-3.

TABELA 3 - DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO DE FACHADAS.

continua		
MÉTODO	RESULTADO	APLICAÇÃO
Elemento – alto-falante	R'_{45°	Método preferencial para estimar o índice de isolamento acústico de elementos de fachadas.
Elemento – tráfego de ruas e rodovias	$R'_{tr,s}$	Alternativa ao método anterior, quando o ruído de tráfego é suficiente para ser utilizado.
Elemento – tráfego ferroviário	$R'_{rt,s}$	Alternativa quando o ruído do tráfego ferroviário é suficiente para ser utilizado.
Elemento – tráfego aéreo	$R'_{at,s}$	Alternativa quando o ruído do tráfego aéreo é suficiente para ser utilizado.
Global – alto-falante	$D_{ls,2m,nT}$ $D_{ls,2m,n}$	Método utilizado quando a ruído de tráfego não é suficiente para ser utilizado.
Global – tráfego de ruas e rodovias	$D_{tr,2m,nt}$ $D_{tr,2m,n}$	Método preferencial para estimar o nível de isolamento global de fachadas ao ruído de tráfego.
Global – tráfego ferroviário	$D_{rt,2m,nt}$ $D_{rt,2m,n}$	Método preferencial para estimar o nível de isolamento global de fachadas ao ruído de ferrovias.

TABELA 3 - DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO DE FACHADAS.

MÉTODO	RESULTADO	conclusão
		APLICAÇÃO
Global – tráfego aéreo	$D_{at,2m,nt}$ $D_{at,2m,n}$	Método preferencial para estimar o nível de isolamento global de fachadas ao ruído de ferrovias.

FONTE: ISO 140-5, 1998.

Os métodos globais são utilizados para determinar a redução sonora de fachadas, ou mesmo de toda uma edificação, ao ruído externo e apresentam valores que não podem ser comparados a dados obtidos em laboratórios.

3.3.4. Medição de parâmetros de Isolamento Acústico pelo Método da Intensidade

O isolamento aéreo pode também ser determinado através da medição da intensidade sonora. A intensidade sonora ($I = [W/m^2]$) é uma grandeza vetorial que descreve o fluxo de energia. Ela pode ser medida com uma sonda BK 3584 acoplada a um analisador BK 2260. No ambiente onde o som é recebido, divide-se a parede em pequenos elementos “ S_n ” da área total “ S ”. A intensidade sonora média é medida através de cada elemento “ S_n ”. Como a intensidade sonora pode ser medida em cada elemento de área “ S_n ”, é possível determinar-se quais caminhos contribuem para transmissão total da potência sonora no ambiente de recepção do som.

Uma vantagem muito importante advinda da medição da intensidade sonora, é que o índice de isolamento sonoro “ R'_n ” pode ser determinado para cada elemento “ S_n ” da parede. Se uma parede é composta por diversos materiais, pode-se então determinar “ R'_n ” para cada um dos componentes. O índice de isolamento da área “ S_n ” é dado pela expressão 7:

$$R'_n = L_{ps} - 6 \text{ dB} - L_{in} + 10 \lg \frac{S}{S_n} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

Onde:

L_{ps} = Média espacial dos níveis de pressão sonora, medidos no ambiente de emissão sonora;

S = Área da parede de separação entre o ambiente de emissão e de recepção;

S_n = Área de um elemento de parede;

L_{in} = Intensidade sonora média, avaliada através da área S_n .

O índice de isolamento total da área “S” é dado pela expressão 8:

$$R' = -10 \lg \sum_{n=1}^N 10^{\frac{-R'_n}{10}} \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

A Figura 5 mostra a sonda de intensidade sonora.

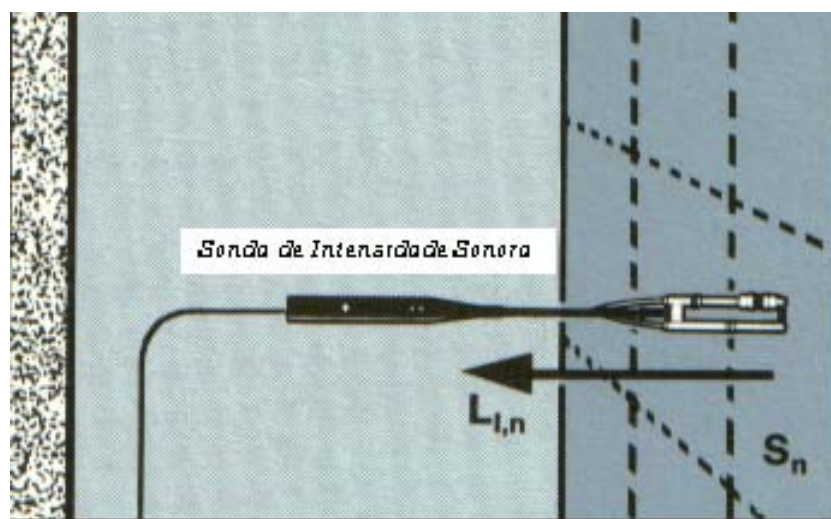


FIGURA 5 - SONDA DE INTENSIDADE. (FONTE: BRÜEL & KJAER, 1993).

3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE UTILIZAÇÃO DE NÚMERO ÚNICO PARA AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO

Para se avaliar o coeficiente de isolamento acústico das edificações e de isolamento sonora de elementos construtivos, deve-se realizar medições em bandas de frequência de 1/3 de oitava, conforme preconizam as normas que regulamentam estas medições. Porém, com o intuito de facilitar a avaliação do conforto acústico das residências e a comparação entre os elementos, foram desenvolvidos procedimentos normalizados que apresentam métodos para a obtenção de um número único, que expressa de maneira simplificada o resultado obtido em bandas de frequências.

3.4.1. Classe de Transmissão Sonora

O STC (*Sound Transmission Class*) – CTS (Classe de Transmissão Sonora) – é o método utilizado nos Estados Unidos para representar o nível de isolamento acústico em função de um número único.

Este procedimento consiste na comparação dos valores obtidos em bandas de frequências de 1/3 de oitava, a uma curva de CTS padrão. A Tabela 4 apresenta os valores da curva referência.

TABELA 4 - VALORES DE REFERÊNCIA DA CURVA CTS PADRÃO.

FREQÜÊNCIA (Hz)	NÍVEL (dB)	FREQÜÊNCIA (Hz)	NÍVEL (dB)
125	-16	800	2
160	-13	1000	3
200	-10	1250	4
250	-7	1600	4
315	-4	2000	4
400	-1	2500	4
500	0	3150	4
630	1	4000	4

FONTE: SILVA, 2000.

Ajustam-se os valores da curva de referência somando-se 1 dB a todos os níveis da curva, até que esta intercepte a curva dos níveis medidos em bandas de frequências de 1/3 de oitava.

Calcula-se, então, a diferença entre os níveis medidos e os apresentados pela curva padrão. Quando os valores medidos forem menores que os da curva de referência, deve-se verificar se esta diferença é superior a 8 dB em alguma das frequências, ou se a soma de todas as diferenças, em que a curva de referência apresentou valores menores que a curva de medição, é maior que 32 dB. Caso alguma destas hipóteses se verifique, faz-se necessário continuar a ajustar a curva.

Quando as condições especificadas acima forem satisfeitas, efetua-se a leitura do valor da curva de referência na frequência de 500 Hz, que será o valor da classe de transmissão sonora.

3.4.2. Número Único segundo ISO 717

A norma ISO 717 (ISO, 1996) apresenta um método para a obtenção de um número único, que represente o resultado da medição de parâmetros acústicos obtidos através de medições realizadas em bandas de frequência de 1/3 de oitava, ou em bandas de oitava.

Este número é obtido através da comparação da curva do espectro de frequências do coeficiente avaliado, a uma curva padrão, cujos valores estão na Tabela 5.

TABELA 5 - VALORES DE REFERÊNCIA SEGUNDO ISO 717.

FREQUÊNCIA (Hz)	VALORES DE REFERÊNCIA (dB)	
	BANDAS DE 1/3 DE OITAVA	BANDAS DE OITAVA
100	33	
125	36	36
160	39	

continua

TABELA 5 - VALORES DE REFERÊNCIA SEGUNDO ISO 717.

FREQÜÊNCIA (Hz)	VALORES DE REFERÊNCIA (dB)		conclusão
	BANDAS DE 1/3 DE OITAVA	BANDAS DE OITAVA	
200	42		
250	45	45	
315	48		
400	51		
500	52	52	
630	53		
800	54		
1000	55	55	
1250	56		
1600	56		
2000	56	56	
2500	56		
3150	56		

FONTE: ISO, 1996.

Esta comparação é efetuada plotando-se a curva de referência obtida, através da medição em uma parede de tijolos sem furos com espessura de 25 cm, e deslocando-se esta de 1 em 1 dB, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não ultrapasse 32 dB, para medições em bandas de 1/3 de oitava, e 10 dB, para medições em bandas de oitava. O valor do número único é o valor da curva de referência na frequência de 500 Hz, após a realização dos procedimentos acima descritos.

A Figura 6 mostra um exemplo da aplicação deste método, onde a curva padrão de referência foi desenhada na cor azul, o gráfico preto representa o resultado das medições em bandas de frequência de 1/3 de oitava e a curva pontilhada representa a curva padrão já deslocada, onde se obtém o valor do número único através da leitura do valor desta curva na frequência de 500 Hz.

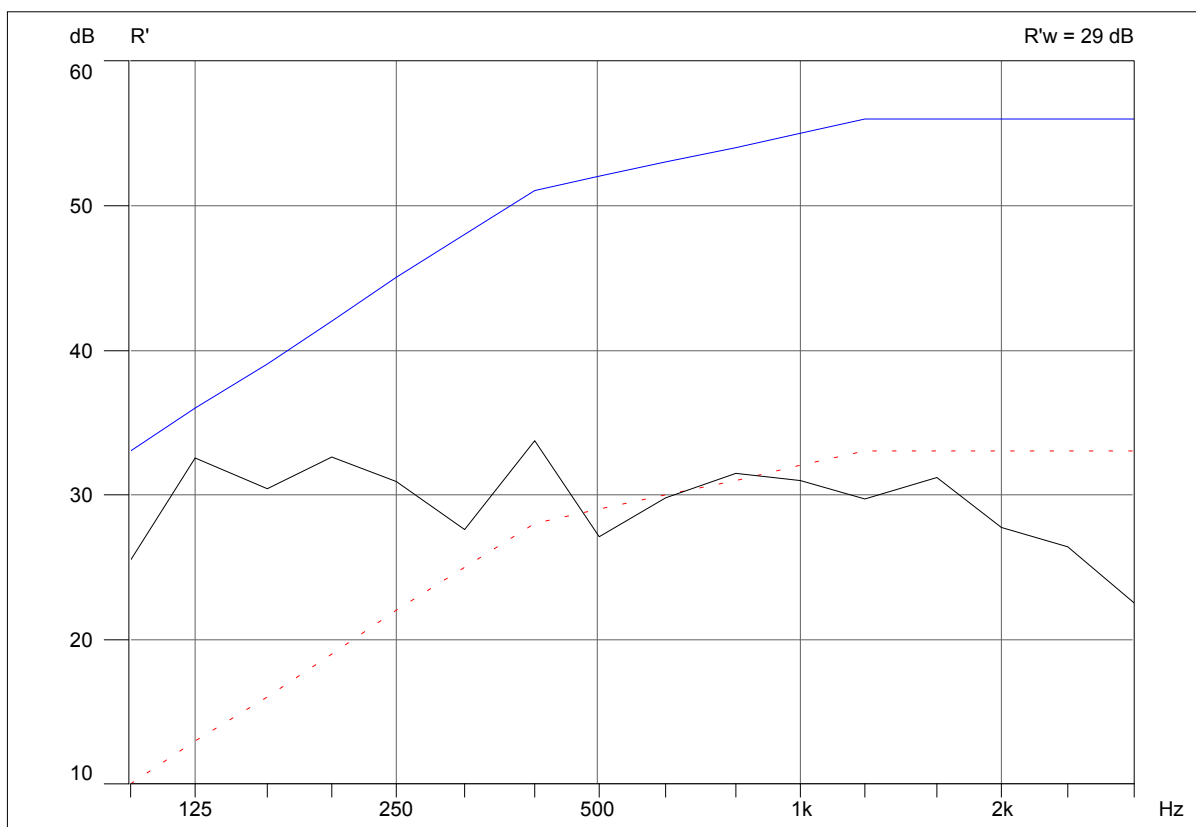


FIGURA 6 - MODELO PARA OBTENÇÃO DO NÚMERO ÚNICO SEGUNDO ISO 717.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. INTRODUÇÃO

Os resultados deste trabalho foram obtidos através de medições *in situ* dos coeficientes de isolamento acústico entre cômodos e através de fachadas. Foram também realizadas simulações destes coeficientes com o uso do programa *Bastian 2.0*, que utiliza o método de cálculo das normas européias EN 12.354-1 (E.N., 2000), que prescreve um método de predição do nível de isolamento acústico entre cômodos de residências, e EN 12.354-3 (E.N., 2000), que indica um método para a simulação do isolamento acústico de fachadas.

Definiram-se os coeficientes a serem medidos para se alcançar os objetivos do trabalho. Estes foram: 1) para o ruído entre os cômodos das edificações o número único R'_w = Índice de Redução Sonora Aparente determinado em campo; e 2) para o ruído nas fachadas das residências o número único $R'_{tr,s,w}$ = Índice de Redução Sonora Aparente, Ponderada.

Na escolha das casas e apartamentos que foram avaliados, procurou-se selecionar residências de diversos padrões sócio-econômicos, e que foram edificadas com diferentes materiais, porém enfatizou-se a alvenaria, que é o tipo de material mais utilizado.

Foram avaliadas 11 (onze) residências, sendo três apartamentos no bairro Batel, um sobrado geminado localizado no bairro Santa Cândida, uma residência no bairro Jardim das Américas, um apartamento no bairro Jardim Botânico, uma casa de madeira no bairro Cajuru e três casas populares, uma de blocos de concreto edificada no pátio da UFPR e duas de materiais alternativos construídas na Vila Tecnológica, situada no bairro Novo Mundo, todas em Curitiba.

A Figura 7 apresenta o mapa com a localização das residências avaliadas. O traçado em negrito marca as vias estruturais de grande tráfego de veículos, inclusive

ônibus. Optou-se por locais com alto ruído de tráfego para que este pudesse ser utilizado como fonte externa na determinação dos coeficientes de isolamento acústico das fachadas.

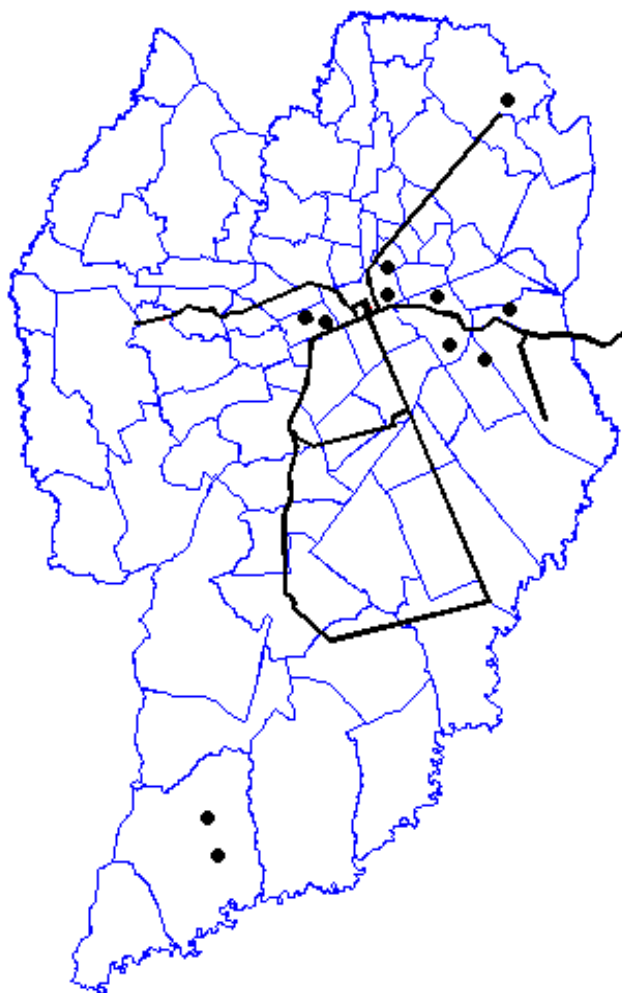


FIGURA 7 - MAPA DA CIDADE DE CURITIBA COM A LOCALIZAÇÃO DAS RESIDÊNCIAS.

É importante salientar que não foram avaliados todos os cômodos e fachadas das residências estudadas, e sim apenas uma parcela deles. Isto foi feito, pois o procedimento de medição é demorado e traz desconforto aos moradores e até mesmo a vizinhança dos locais.

4.2. MEDIÇÃO EM CAMPO DOS COEFICIENTES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

A execução das medições foi uma tarefa que exigiu bastante esforço de logística e planejamento, devido ao transporte dos equipamentos, à distribuição destes no ambiente e ao ruído gerado durante o processo.

Os procedimentos para as medições em campo dos coeficientes de isolamento sonoro entre cômodos de edificações são especificados pela ISO 140-4 (ISO, 1998) e para o isolamento oferecido pelas fachadas das residências pela ISO 140-5 (ISO, 1998).

As normas sugerem que cada organização determine os procedimentos para a realização dos testes, mas que obedeçam aos seguintes critérios:

- a) Em medições entre salas vazias de iguais dimensões devem ser utilizados difusores;
- b) A fonte sonora deve ser colocada de modo a gerar um campo o mais difuso possível, a uma distância do elemento a ser medido que faça com que a radiação direta sobre ele não seja dominante;
- c) Deve-se medir vários pontos no interior da sala ou utilizar um microfone rotativo, sempre respeitando a distância mínima de 0,5 m entre o microfone e a parede;
- d) A área de absorção pode ser estimada através da fórmula de *Sabine*, porém, se recomenda a utilização do método especificado pela ISO 354 (ISO, 1985);
- e) Para a realização da medição do coeficiente de isolamento da fachada ao ruído de tráfego, deve-se utilizar dois canais de leitura, ou seja, o nível sonoro externo deve ser medido ao mesmo tempo em que o nível interno.

Outro coeficiente importante que deve ser mensurado quando se estiver determinando o isolamento entre cômodos é o ruído de fundo na sala receptora, pois se a diferença entre este nível e o nível “ L_2 ” for menor que 3 dB, a medição não é válida, pois o nível “ L_2 ” não pode ser obtido. Caso esta diferença esteja entre 3 e 10 dB, deve-se corrigir os valores pela tabela de correção da norma ISO 140-4 (ISO, 1998).

Os equipamentos e softwares utilizados foram:

- Analisador Acústico *Brüel & Kjaer*, modelo 2260 Investigator;
- Software *Building Acoustics* BZ 7204 da *Brüel & Kjaer*;
- Software *Qualifier* 7830 da *Brüel & Kjaer*;
- Amplificador de potência da *Brüel & Kjaer*, modelo 2716;
- Fonte sonora dodecaédrica da *Brüel & Kjaer*, modelo 4296;
- Conjunto de microfones tipo *free field* ½’’ *Brüel & Kjaer*, modelo 4190;
- Conjunto de cabos e pré-amplificadores *Brüel & Kjaer*.

Na Figura 8 pode-se visualizar o sistema de medição.



FIGURA 8 - SISTEMA DE MEDIÇÃO UTILIZADO.

O número de pontos de medição avaliados em cada ambiente foi determinado em função das dimensões destes ambientes, cuidando-se sempre para respeitar a distância mínima de 0,5 m entre a parede e o microfone.

O procedimento de medição utilizado para a determinação dos coeficientes de isolamento entre cômodos, consistiu em gerar um sinal do tipo ruído rosa, através do analisador acústico BK 2260, amplificá-lo utilizando o amplificador de potência BK 2716, e então distribuí-lo pelo ambiente através da fonte dodecaédrica BK 4296. A captação do som foi então feita por dois microfones, um instalado na sala de emissão e outro na sala de recepção.

Foi também medido o tempo de reverberação para que fossem efetuadas as correções devido às áreas de absorção das salas de recepção, conforme estipula a ISO 140-4 (ISO, 1998), o que pode ser observado na expressão 6. As especificações para este tipo de medição são estipuladas pela ISO 354 (ISO, 1985).

Para realizar estas medições gerou-se um sinal do tipo ruído rosa e mediu-se o tempo que este levou para cair 20 ou 30 dB. Estes valores na seqüência foram multiplicados por 2 ou por 3 automaticamente pelo software BZ 7204, para que fossem obtidos os tempos de reverberação, que é definido como o tempo que o sinal leva para cair 60 dB. Para cada ponto de medição foram feitas três leituras e posteriormente calculada a média, conforme preconiza a norma.

Outro coeficiente que também precisou ser levantado foi o ruído de fundo na sala de recepção, para que pudessem ser efetuadas as correções previstas na norma.

Para a medição do coeficiente de redução sonora das fachadas, o ruído de fundo não precisou ser medido, pois seu valor coincidiu com o nível sonoro no ambiente de recepção, uma vez que o ruído de tráfego foi utilizado como fonte externa. Quanto ao tempo de reverberação, o procedimento de medição foi o mesmo que o utilizado para a avaliação do isolamento entre cômodos.

Os níveis externos e internos foram medidos ao mesmo tempo, como exige a norma ISO 140-5 (ISO, 1998), para os casos em que o ruído de tráfego é utilizado como fonte externa. Para as medições dos níveis externos em alguns edifícios avaliados, que não possuíam sacadas, foi utilizada uma vara de pescar para segurar o

microfone na distância exigida pela norma, que é de dois metros da fachada. Na Figura 9 pode-se visualizar este procedimento.



FIGURA 9 - MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO DE FACHADAS.

Um item importante do sistema de medição utilizado foi o cabo plano AR 0014 do fabricante *Brüel & Kjaer*, pois este permitiu que o cabo que ligava o microfone externo ao analisador acústico BK 2260, passasse através da janela, sem que esta tivesse que ficar entreaberta, conforme se pode observar na Figura 10.



FIGURA 10 - CABO PLANO.

Após as medições em campo, os dados armazenados na memória do analisador BK 2260 foram descarregados no software BK 7830, onde foram processados de acordo com as normas ISO 140-4, ISO 140-5 e ISO 717-1. Como saída de dados, obteve-se os gráficos que apresentam os níveis de isolamento acústico dos cômodos e das fachadas, avaliados em bandas de frequência de 1/3 de oitava, como no modelo da Figura 11, e o número único de isolamento acústico, que aparece no canto superior direito da figura, que foi calculado automaticamente pelo software BK7830 seguindo os preceitos da norma ISO 717-1, cujo método foi apresentada no item 3.4.2 deste trabalho.

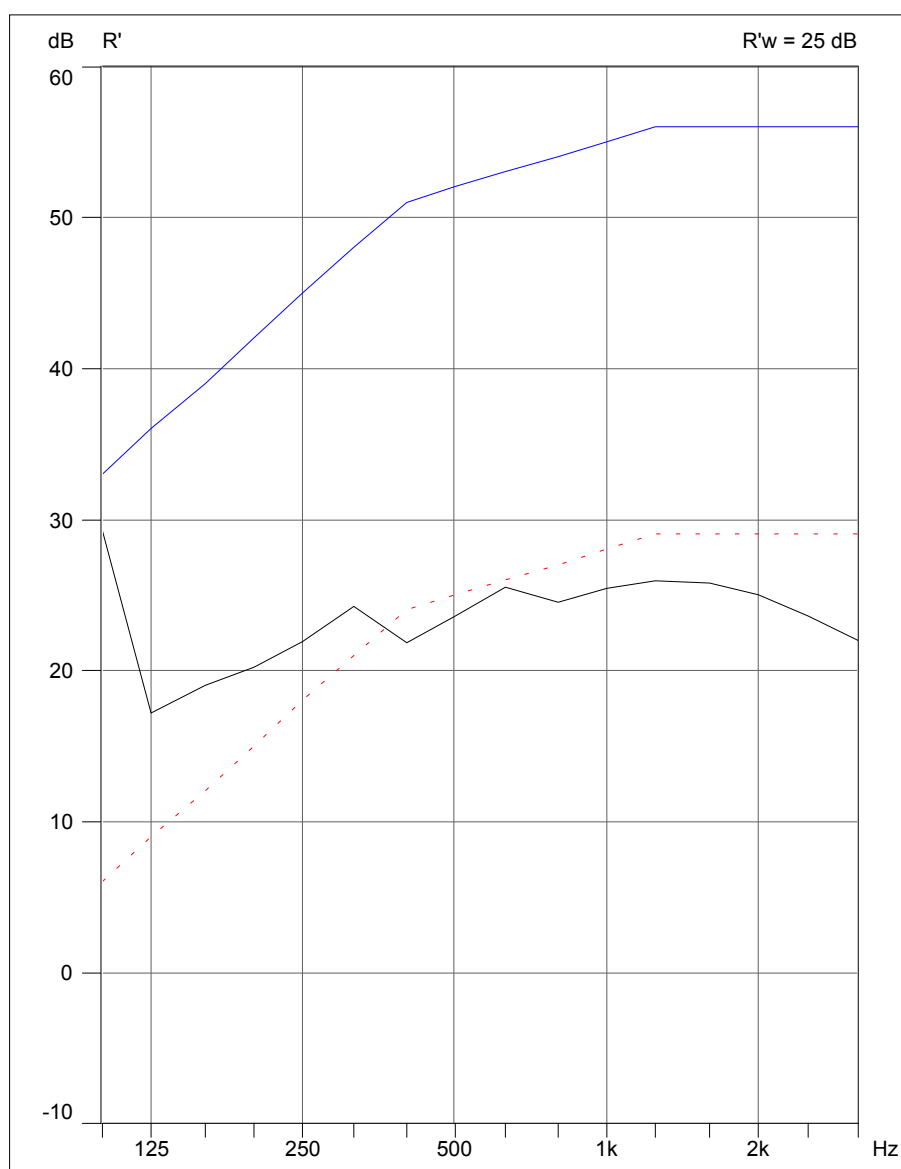


FIGURA 11 - GRÁFICO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO.

4.3. SIMULAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Para a simulação dos parâmetros de isolamento acústicos “ R'_w ” entre cômodos e “ $R'_{tr,s,w}$ ” para fachadas, foi utilizado o software *Bastian 2.0*, que utiliza os métodos de cálculo da norma europeia EN 12.354-1 (E.N., 2000), que prescreve um método de predição do nível de isolamento acústico entre cômodos de residências, e EN 12.354-3 (E.N., 2000), que indica um método para a simulação do isolamento acústico de fachadas.

Este software foi utilizado também pelos pesquisadores europeus que publicaram trabalhos sobre as referidas normas (CRAIK, 2002; SAARINEN, 2002; SIMMONS, 2002, 2001).

O software *Bastian* possui um amplo banco de dados composto por diversos elementos construtivos: paredes simples, paredes duplas, lajes, janelas, portas e outros. Este banco de dados contém parâmetros acústicos de elementos construtivos medidos em laboratório, tais como o “ R ” (índice de redução acústica) e a “ f_c ” (frequência crítica da partição). No entanto, estes elementos principalmente as portas e as janelas, apresentam valores muito diferentes dos utilizados no Brasil, isto se deve ao fato do programa ter sido desenvolvido para ser utilizado na Europa, onde o clima é bem diferente do brasileiro e o poder aquisitivo da população é superior ao da população brasileira.

Para utilizar esta ferramenta para prever os coeficientes de isolamento acústico na construção civil brasileira foi necessário procurar informações de ensaios de laboratório que apresentassem dados dos elementos construtivos utilizados no país.

Esta não foi uma tarefa fácil, pois os fornecedores de materiais de construção bem como os de portas e janelas não investem na realização destes ensaios, já que nem a legislação brasileira nem os construtores lhes exigem este tipo de informação. Estes dados foram obtidos do livro “*Noise Control in Buildings: A Practical Guide for Architects and Engineers*” (HARRIS, 1998), e dos poucos trabalhos acadêmicos existentes e ou encontrados sobre o tema (RECCHIA, 2001; SILVA, 2000; BARING, 1990).

Outra dificuldade encontrada para a realização das simulações foi a modelagem da geometria do ambiente avaliado, pois o software *Bastian 2.0* só permite a inclusão de geometrias retangulares e não permite a inserção de elementos, tais como portas e janelas, nas paredes laterais. A solução encontrada para solucionar estes problemas foi a de alterar a geometria do ambiente avaliado, porém mantendo o mesmo volume do ambiente, a mesma área da partição exposta direta ao ruído e a mesma proporção entre a área de parede e a área dos elementos.

Na Figura 12 pode-se observar a tela de trabalho do programa bem como as diferentes configurações de trabalho do mesmo.

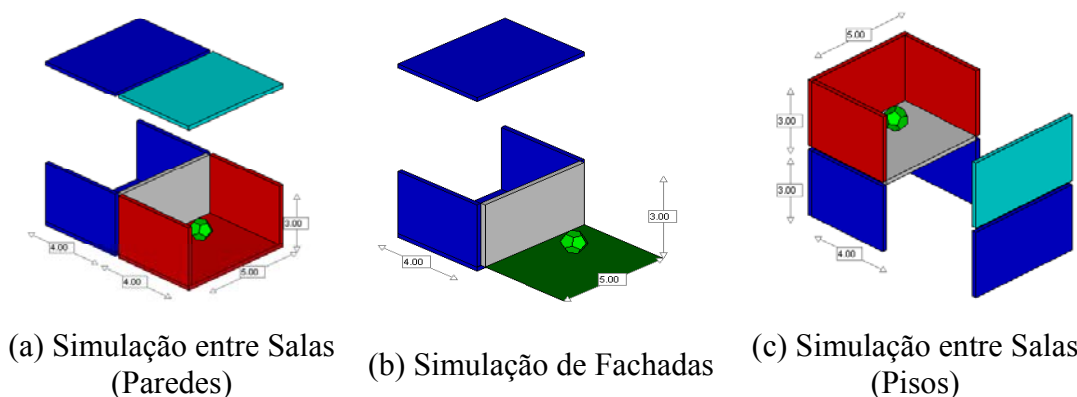
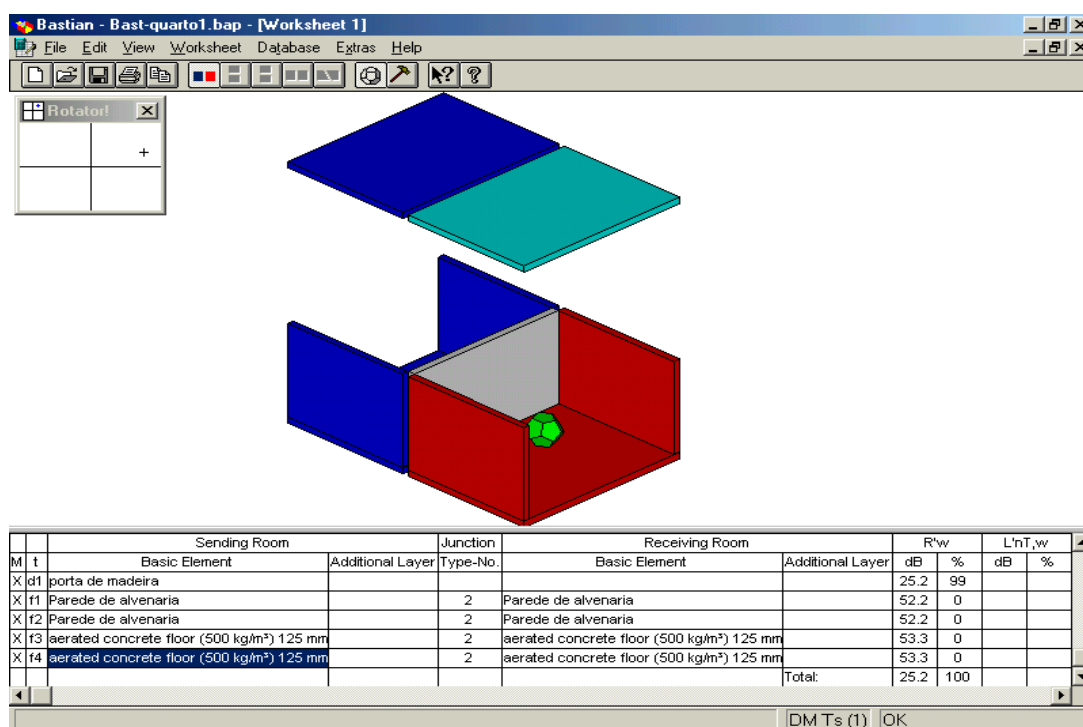


FIGURA 12 - TELA DE TRABALHO DO PROGRAMA *BASTIAN*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão descritas as residências avaliadas para a realização deste trabalho, e apresentados os resultados das medições dos coeficientes de isolamento acústico, medidos e simulados, das fachadas e entre os cômodos destas edificações.

Os resultados serão apresentados através de números únicos, conforme explicado no item 4 (Materiais e Métodos), porém os gráficos que apresentam estes resultados em bandas de frequência de 1/3 de oitava estão nos apêndices.

5.1. RESIDÊNCIA 1

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviera, situado no Bairro Batel e mostrado na Figura 13.



FIGURA 13 – RESIDÊNCIA 1.

Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples. As dimensões da janela instalada na fachada avaliada são de (1,45 x 1,45) m.

Nesta residência foram avaliadas 4 divisórias internas e uma fachada. Na Figura 14 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 5.

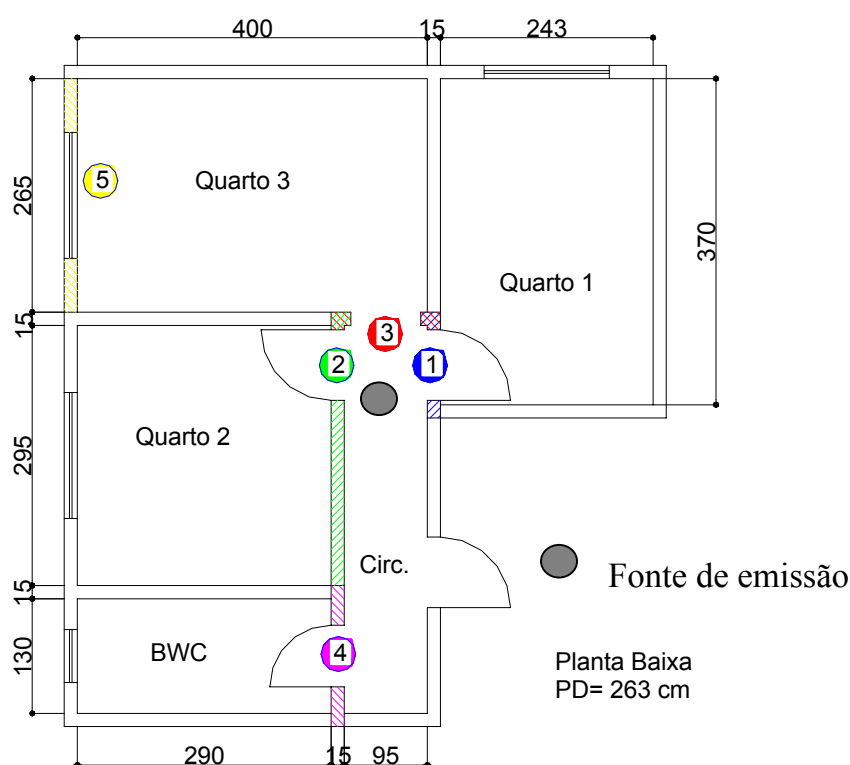


FIGURA 14 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 1.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 15.

Os valores dos coeficientes de isolamento acústico medido e simulado, com a utilização do software *Bastian* para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 1.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	28	30,5
2	29	30,3
3	26	25,6
4	27	26,7

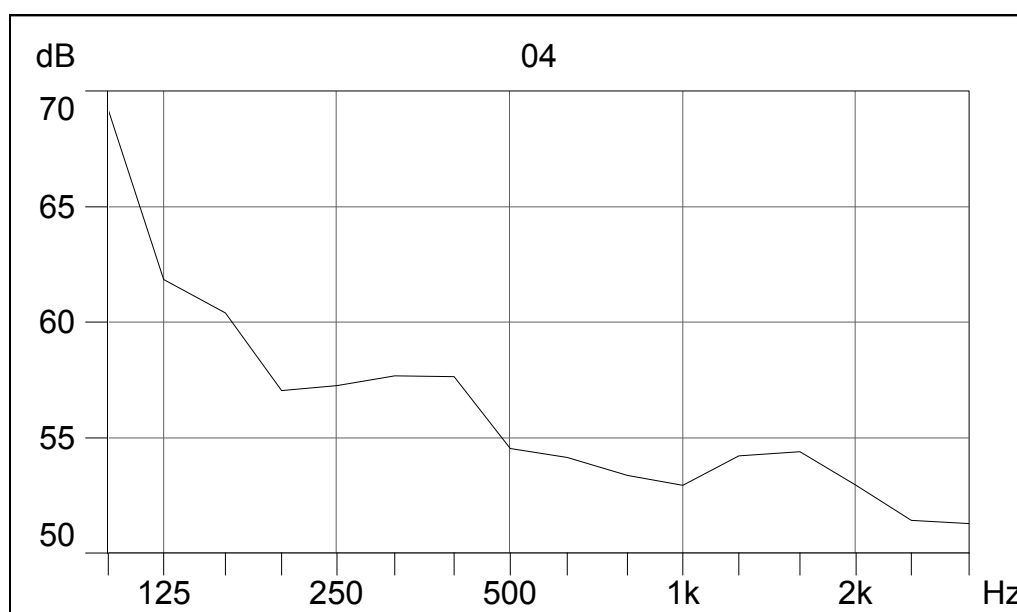


FIGURA 15 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 1.

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 6, verifica-se uma grande proximidade entre os coeficientes medidos e os simulados para as partições avaliadas. Isto leva a conclusão que o software *Bastian*, que tem o método de cálculo dos parâmetros de isolamento aéreo entre cômodos, baseado na norma europeia EN 12.354-1 (E.N., 2000), apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo entre os cômodos desta edificação.

Constatou-se também que os coeficientes medidos nas partições internas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 7 são apresentados os valores da medição e da simulação da fachada da edificação. Neste apartamento só foi possível avaliar um elemento, pois o prédio não possui sacada e, somente em uma das fachadas, devido a sua localização, foi possível realizar a medição utilizando o procedimento descrito no item 4 (Materiais e Métodos). Esta pode ser visualizada na Figura 7.

TABELA 7 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 1.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
5	21	22,8

Os valores da Tabela 7 apresentam similaridade entre o parâmetro medido e o simulado. Isto mostra que, o software *Bastian*, que tem seu método de cálculo dos parâmetros de isolamento aéreo de fachadas, baseado na norma europeia EN 12.354-3, apresentou uma boa performance na simulação do coeficiente de isolamento acústico da fachada avaliada.

O índice de isolamento medido mostrou-se inaceitável quando comparado com os prescritos pelas normas internacionais como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso pode-se observar que o valor obtido na medição de 21 dB(A), está bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando este valor de 21dB(A) é comparado com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 71,8 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 45 dB(A).

TABELA 8 - NÍVEIS EXIGIDOS PELA DIN 4109.

RUÍDO EXTERNO	SALAS DE ESTAR, DORMITÓRIOS, SALAS DE AULA E SIMILARES
Leq - dB(A)	R' _w – MÍNIMO DA FACHADA dB(A)
Até 55	30
56 até 60	30
61 até 65	35
66 até 70	40
71 até 75	45
76 até 80	50
maior que 80	-

FONTE: DIN 4109, 1989

5.2. RESIDÊNCIA 2

Apartamento localizado no 17º andar do edifício Bouganville, situado no Centro e mostrado na Figura 16.



FIGURA 16 – RESIDÊNCIA 2.

Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

Nesta residência foram avaliadas 2 divisórias internas e 3 fachadas. Na Figura 17 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 5.

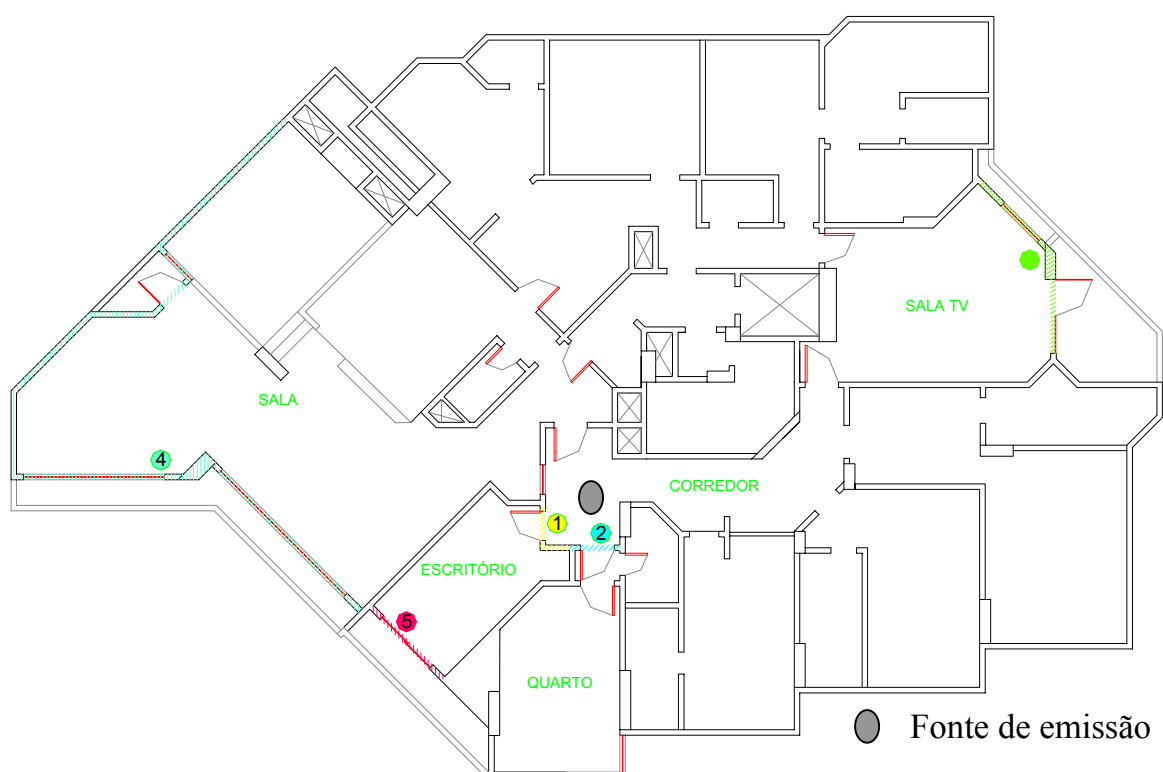


FIGURA 17 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 2.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 18.

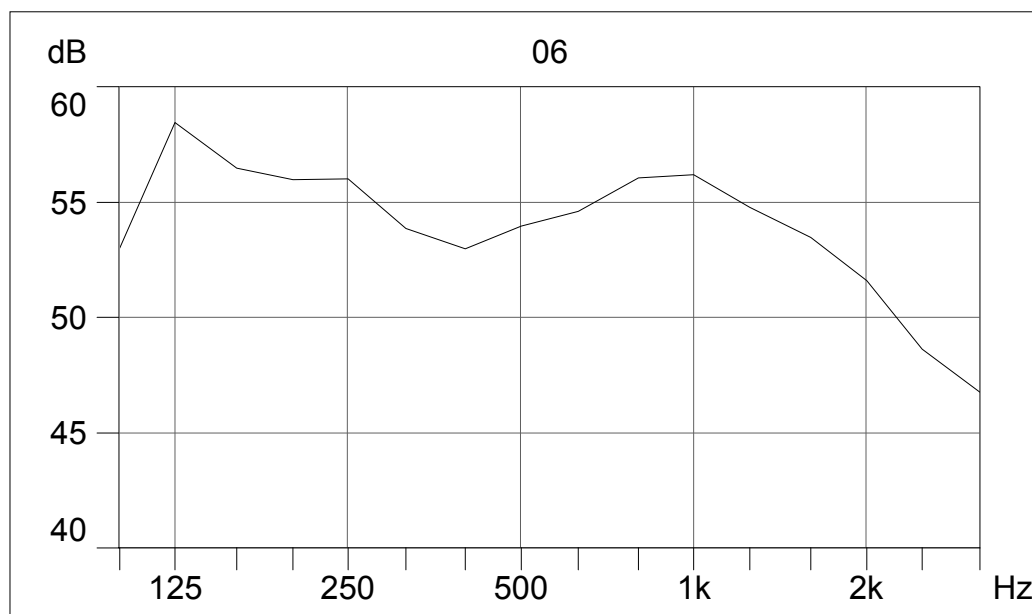


FIGURA 18 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 2.

Os valores do parâmetro de isolamento acústico, medidos e simulados, com a utilização do software *Bastian* para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 2.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	25	25,8
2	27	25,5

Observando-se os valores dos índices de isolamento acústico na Tabela 9, verifica-se uma grande proximidade entre o parâmetro medido e simulado para as partições avaliadas, isto leva a conclusão que o software *Bastian* apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo entre os cômodos desta edificação.

Constatou-se também que o parâmetro medido nas partições internas apresentou valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os exigidos pelas normas internacionais como a DIN 4.109, que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 10 são apresentados os valores da medição e da simulação das fachadas avaliadas.

TABELA 10 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 2.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
3	21	20,3
4	22	23,8
5	22	22,4

Os valores da Tabela 10 apresentam similaridade entre o parâmetro medido e o simulado. Isto mostra que o software *Bastian* apresentou uma boa performance na simulação do nível de isolamento acústico da fachada avaliada.

Os índices de isolamento medidos mostraram-se inaceitáveis quando comparados com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109, que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que os valores obtidos nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando estes valores são comparados com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 66,7 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.3. RESIDÊNCIA 3

Apartamento localizado no 8º andar do edifício Notre Dame, situado no bairro Batel e mostrado na Figura 19.

Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois

lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

Nesta residência só foi possível avaliar uma das divisórias internas, entre o banheiro e o corredor, pois o piso dos outros cômodos havia sido retirado para substituição, deixando assim uma grande fresta entre a porta e o contra-piso. Na Figura 20 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 3.



FIGURA 19 – RESIDÊNCIA 3.

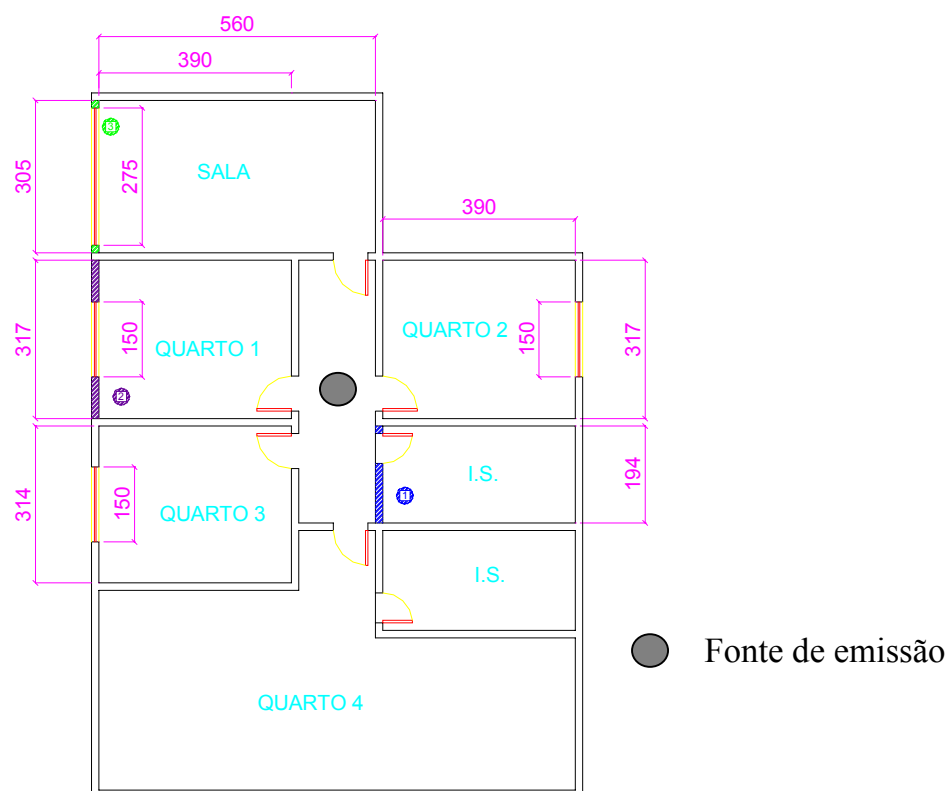


FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 3.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 21.

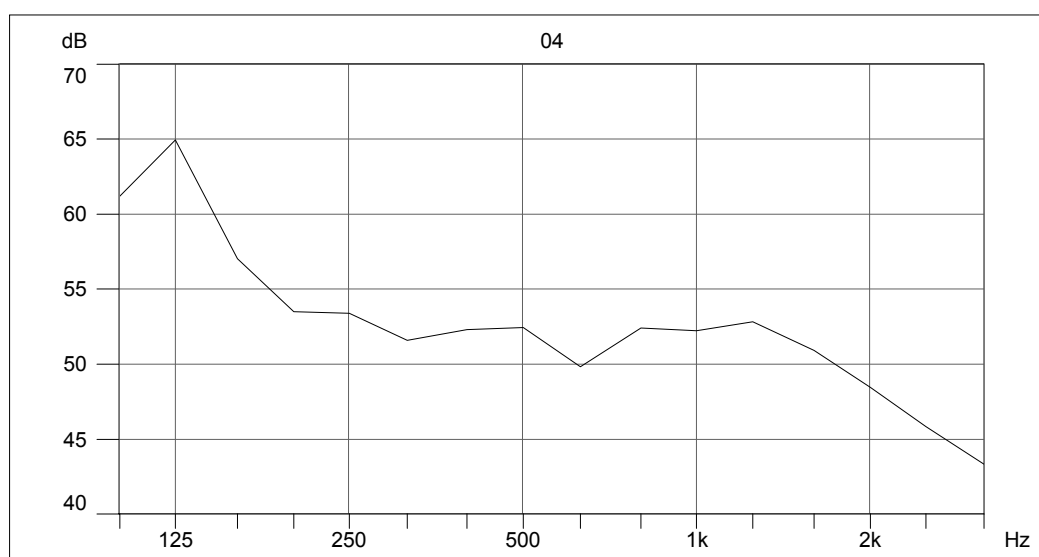


FIGURA 21 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 3.

Os valores do coeficiente de isolamento acústico medido e simulado com a utilização do software *Bastian*, para a divisória interna avaliada, são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 3.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	29	27,6

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 11, verifica-se uma grande proximidade entre o coeficiente medido e o simulado para a partição avaliada, isto leva a conclusão que o software *Bastian* apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo, entre o cômodo avaliado nesta edificação.

Constatou-se também que o coeficiente medido na partição interna apresentou valor abaixo do aceitável, se comparado com os exigidos pelas normas internacionais como a DIN 4.109, que prescreve para o isolamento entre o cômodo interno avaliado um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 12 são apresentados os valores das medições e das simulações das fachadas avaliadas.

TABELA 12 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 3.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
2	22	23,5
3	19	19,2

Os valores da Tabela 12 apresentam similaridade entre os coeficientes medidos e simulados. Isto mostra que o software *Bastian* apresentou uma boa performance na simulação dos coeficientes de isolamento acústico das fachadas avaliadas.

Os coeficientes de isolamento medidos mostraram-se inaceitáveis quando comparados com os prescritos pelas normas internacionais como a DIN 4.109, que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que os valores obtido nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando estes valores são comparados com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 68,2 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.4. RESIDÊNCIA 4

Apartamento localizado no 8º andar do edifício La Vie em Rose, situado no bairro Alto da XV e mostrado na Figura 22.

As Paredes externas foram construídas em alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e rebocadas dos dois lados. As divisórias internas são compostas por painéis de gesso acartonado, tipo *Dry Wall*. Lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

Nesta residência foram avaliadas 3 divisórias internas e 1 fachada. Na Figura 23 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 4.



FIGURA 22 – RESIDÊNCIA 4.

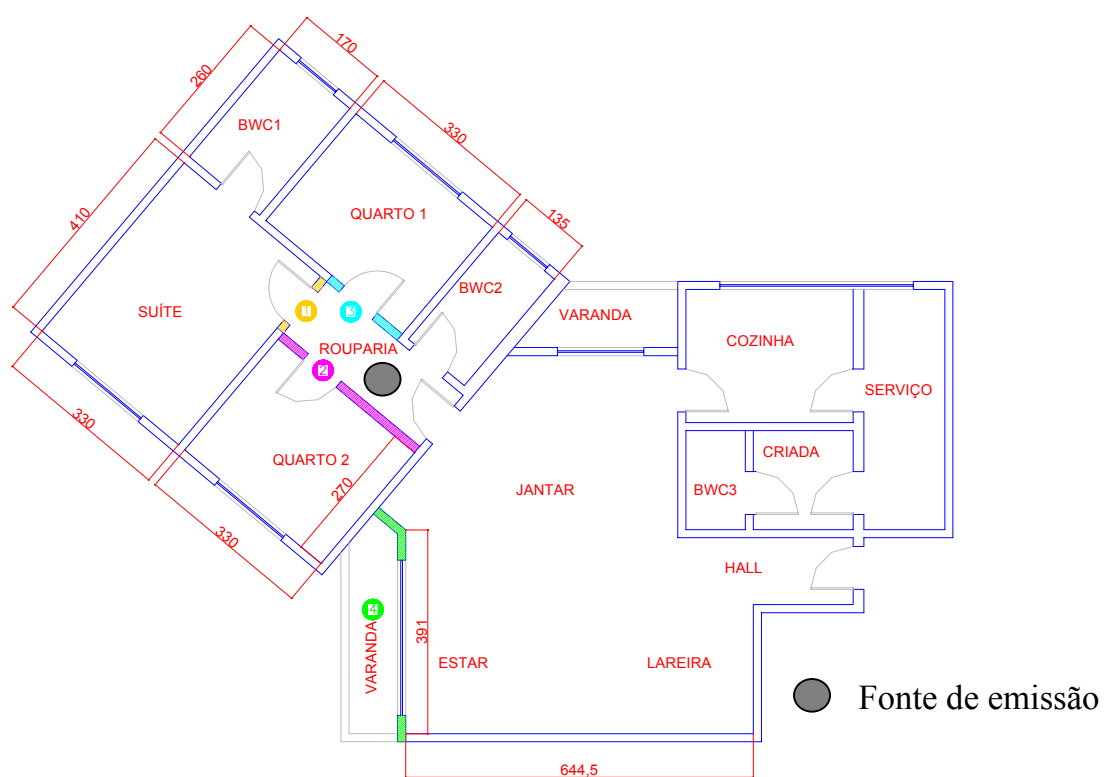


FIGURA 23 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 4.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 24.

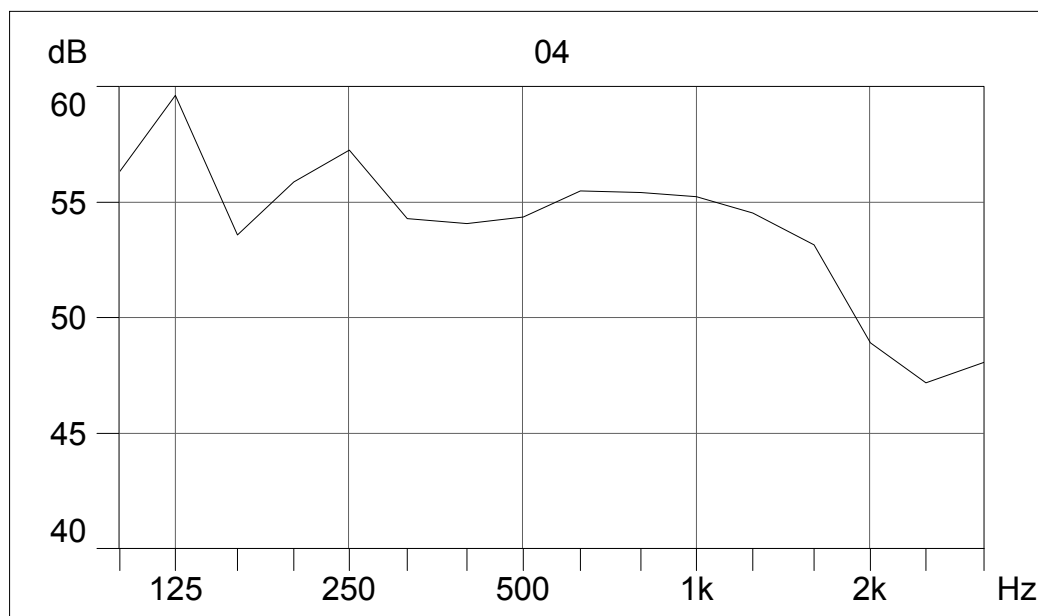


FIGURA 24 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 4.

Os valores do parâmetro de isolamento acústico medido e simulado com a utilização do software *Bastian*, para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 4.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	28	26,3
2	29	30,3
3	27	26,3

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 13, verifica-se uma grande proximidade entre os coeficientes medidos e os simulados para as partições avaliadas, isto leva a conclusão que o software *Bastian* apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo entre os cômodos desta edificação.

Constatou-se também, que os coeficientes medidos nas partições internas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, quando comparados com os exigidos pelas normas internacionais como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 14 é apresentado o valor da medição e da simulação da fachada avaliada.

TABELA 14 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 4.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
4	22	19,4

Os valores da Tabela 14 apresentam similaridade entre o coeficiente medido e o simulado. Isto mostra que o software *Bastian* apresentou uma boa performance na simulação do coeficiente de isolamento acústico da fachada avaliada.

O coeficiente de isolamento medido mostrou-se inaceitável quando comparado com os prescritos pelas normas internacionais como a DIN 4.109, que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando este valor de 22 dB(A) é comparado com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 67 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.5. RESIDÊNCIA 5

Residência situada no bairro Jardim Santa Bárbara e mostrada na Figura 25.



FIGURA 25 – RESIDÊNCIA 5.

Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

Nesta residência foram avaliadas 3 divisórias internas e 1 fachada. Na Figura 26 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 4.

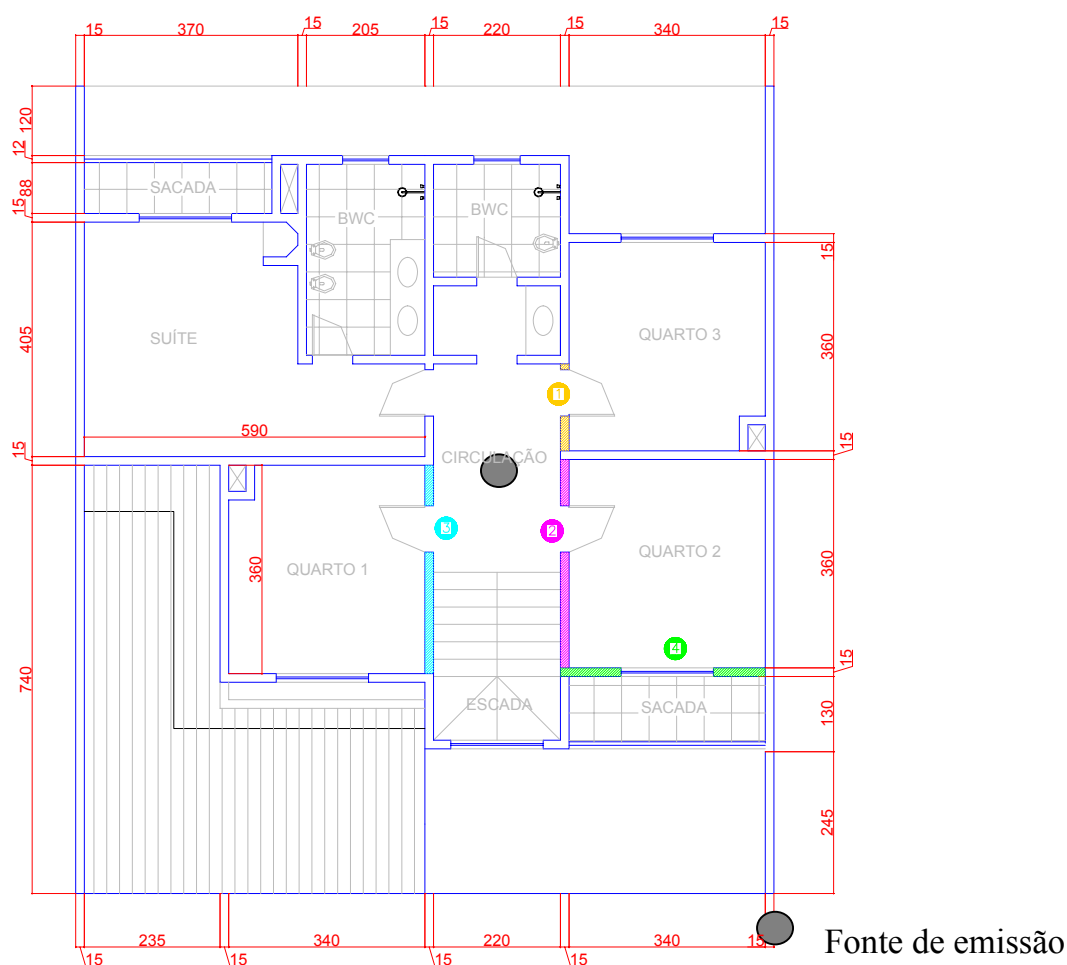


FIGURA 26 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 5.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 27.

Os valores dos coeficientes de isolamento acústico medido e simulado com a utilização do software *Bastian*, para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 15.

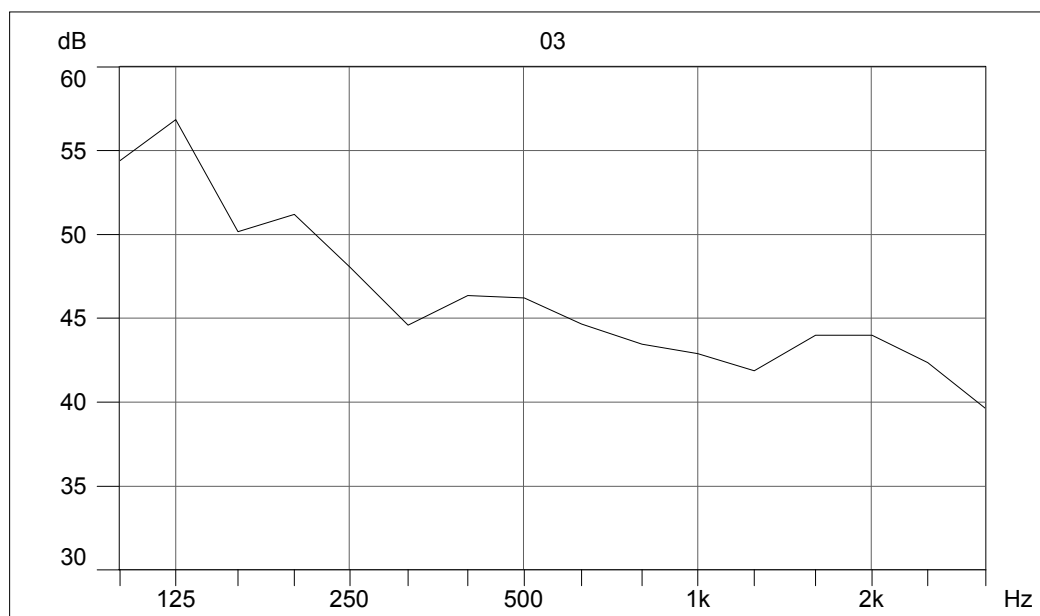


FIGURA 27 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 5.

TABELA 15 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 5.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	31	27,3
2	30	30,9
3	31	30,9

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 15, verifica-se uma grande proximidade entre os coeficientes medidos e os simulados para as partições avaliadas, isto leva a conclusão que o software *Bastian* apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo entre os cômodos desta edificação.

Constatou-se também, que os coeficientes medidos nas partições internas apresentaram valores próximos, porém, abaixo dos aceitáveis se comparados com os exigidos pelas normas internacionais como a DIN 4.109, que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 16 é apresentado o valor da medição e da simulação da fachada avaliada.

TABELA 16 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 5.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
4	23	21,6

Os valores da Tabela 16 apresentam similaridade entre o coeficiente medido e o simulado. Isto mostra que o software *Bastian* apresentou uma boa performance na simulação do nível de isolamento acústico da fachada avaliada.

O coeficiente de isolamento medido mostrou-se inaceitável quando comparado com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109, que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando este valor de 23 dB(A) é comparado com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 61,2 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 35 dB(A).

5.6. RESIDÊNCIA 6

Apartamento localizado no 4º andar de edifício no bairro Rebouças e mostrado na Figura 28.

Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

Nesta residência foram avaliadas 1 divisória interna e 2 fachadas. Na Figura 29 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 3



FIGURA 28 – RESIDÊNCIA 6.

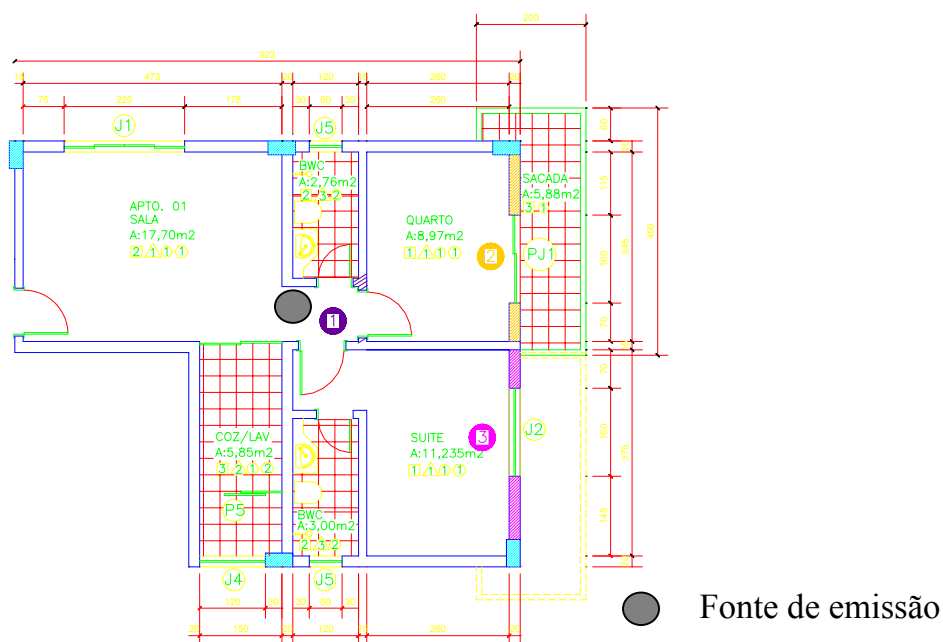


FIGURA 29 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 6.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 30.

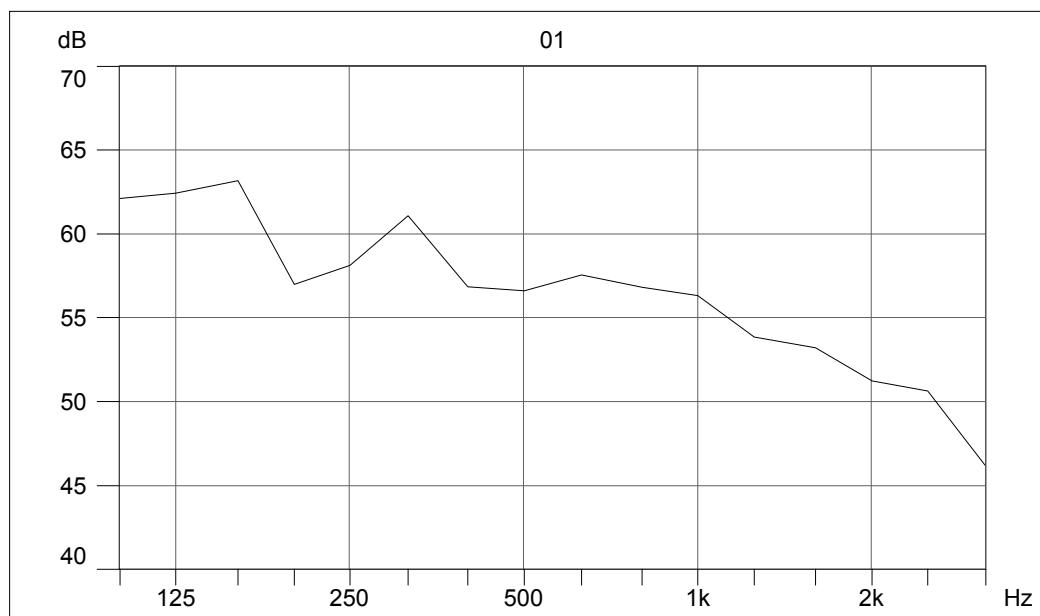


FIGURA 30 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 6.

O valor do coeficiente de isolamento acústico medido e simulado com a utilização do software *Bastian*, para a divisória interna avaliada, é apresentado na Tabela 17.

TABELA 17 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 6.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	28	26,3

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 17, verifica-se uma grande proximidade entre o coeficiente medido e o simulado para a partição avaliada, isto leva a conclusão que o software *Bastian* apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo no ambiente avaliado.

Constatou-se também, que o coeficiente medido na partição interna apresentou um valor abaixo do aceitável, se comparado com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109, que prescreve para o isolamento entre os cômodos

internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 18 são apresentados os valores das medições e das simulações das fachadas avaliadas.

TABELA 18 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 6.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
2	21	22,2
3	23	21,9

Os valores da Tabela 18 apresentam similaridade entre os coeficientes medidos e simulados. Isto mostra que o software *Bastian* apresentou uma boa performance na simulação dos coeficientes de isolamento acústico das fachadas avaliadas.

Os coeficientes de isolamento medidos mostraram-se inaceitáveis quando comparados com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109, que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando estes valores são comparados com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 70,4 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.7. RESIDÊNCIA 7

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida e mostrado na Figura 31.

Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de

madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.



FIGURA 31 – RESIDÊNCIA 7.

Nesta residência foram avaliadas 4 divisórias internas e 2 fachadas. Na Figura 32 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 6.

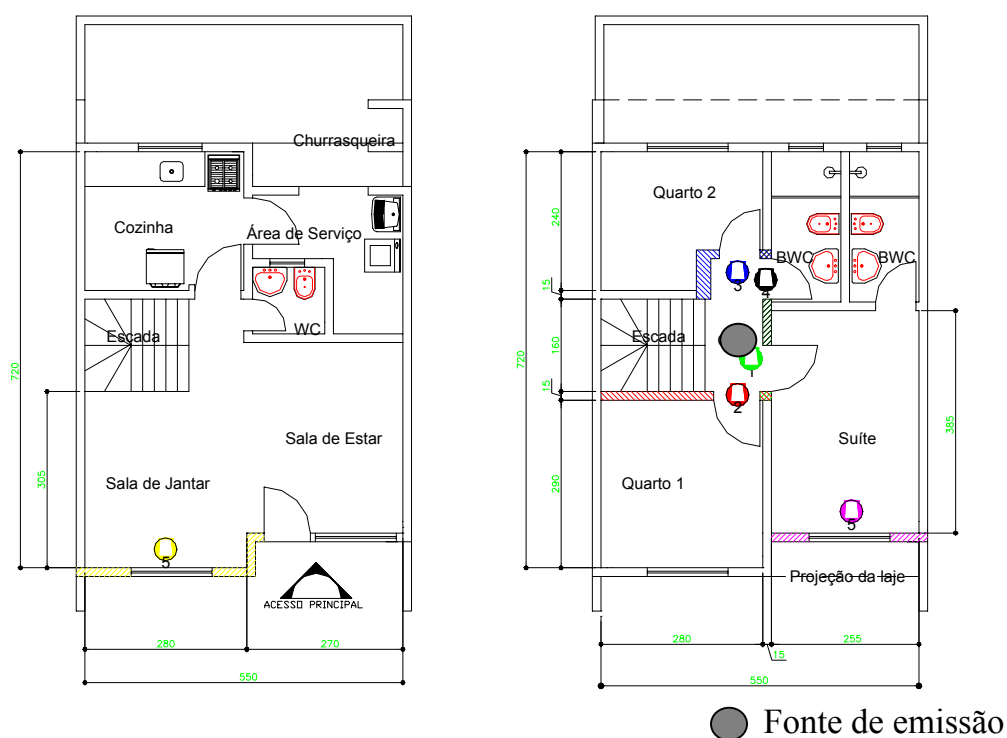


FIGURA 32 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 7.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 33.

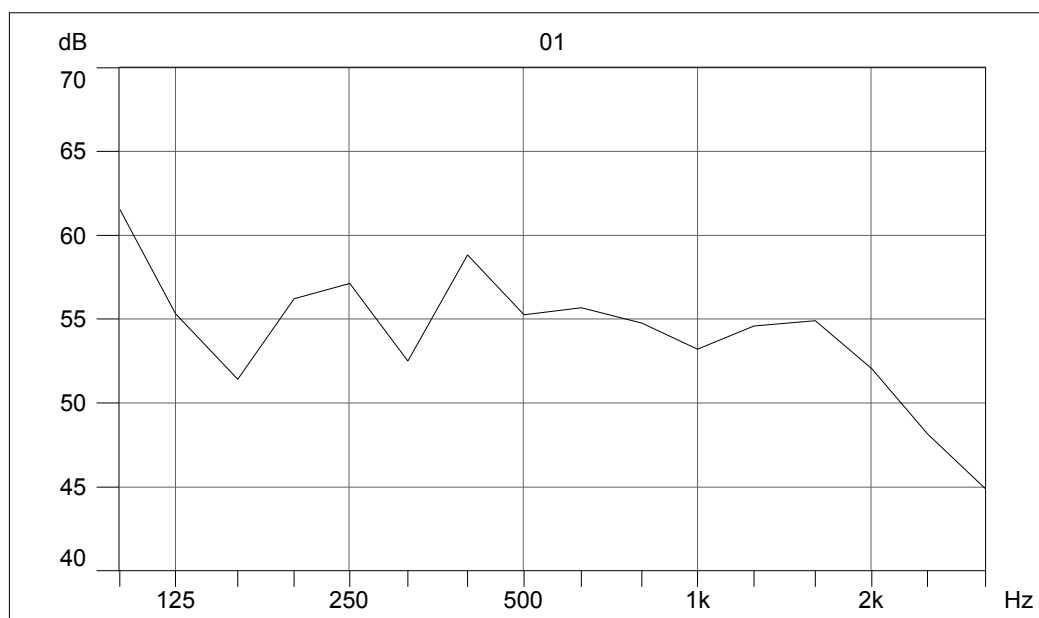


FIGURA 33 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 7.

Os valores dos coeficientes de isolamento acústico medido e simulado com a utilização do software *Bastian*, para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 7.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	28	26,2
2	28	29,8
3	29	28,5
4	27	25,5

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 19, verifica-se uma grande proximidade entre os coeficientes medidos e os simulados para as partições avaliadas, isto leva a conclusão que o software *Bastian* apresentou

um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo entre os cômodos desta edificação.

Constatou-se também, que os coeficientes medidos nas partições internas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis se comparados com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 20 são apresentados os valores da medição e da simulação das fachadas avaliadas.

TABELA 20 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 7.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
5	19	23,1
6	20	23,0

Os valores da Tabela 20 apresentam similaridade entre os coeficientes medidos e simulados. Isto mostra que o software *Bastian* apresentou uma performance razoável na simulação dos níveis de isolamento acústico das fachadas avaliadas.

Os coeficientes de isolamento medidos mostraram-se inaceitáveis, quando comparados com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando estes valores são comparados com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 67,6 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.8. RESIDÊNCIA 8

Casa edificada no pátio da Universidade Federal do Paraná – UFPR, com a finalidade de ser avaliada e de servir de modelo para visitação. Esta edificação pode ser observada na Figura 34.



Figura 34 – Residência 8.

As paredes internas e externas são compostas por blocos de concreto com função estrutural, peso específico de 2.010 Kg/m^3 , e que possuem as seguintes dimensões (14 x 19 x 39) cm. Todas as paredes possuem reboco dos dois lados.

As portas da edificação são de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. O forro é de lambri de madeira recoberto por telhas de concreto.

Nesta residência foram avaliadas 3 divisórias internas e 2 fachadas. Na Figura 35 estes elementos estão hachurados e numerados de 1 a 5.

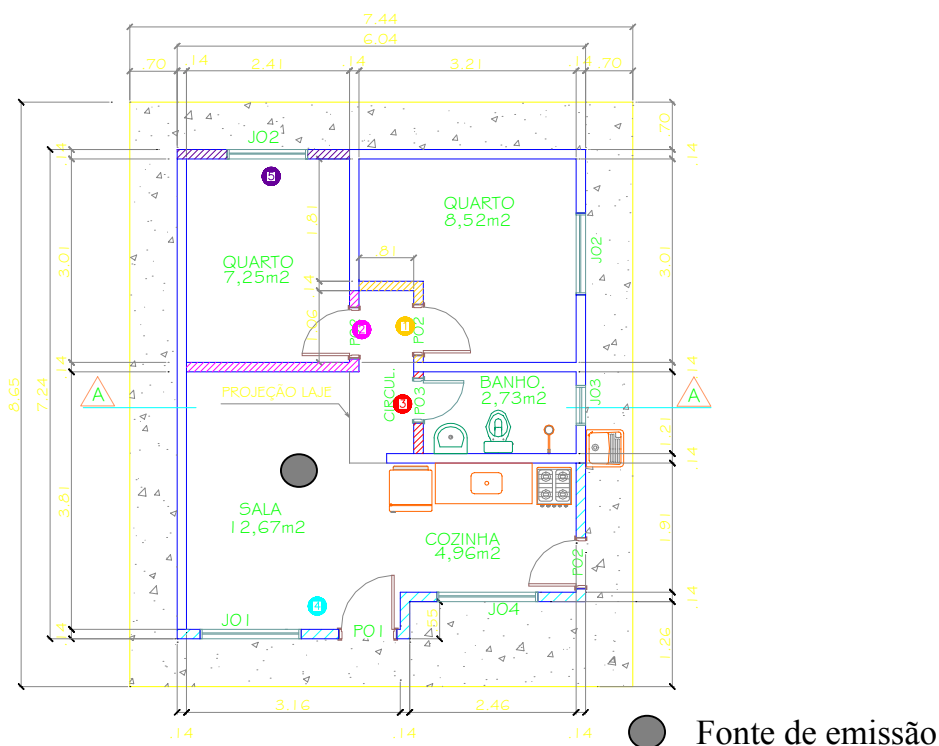


FIGURA 35 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 8.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 36.

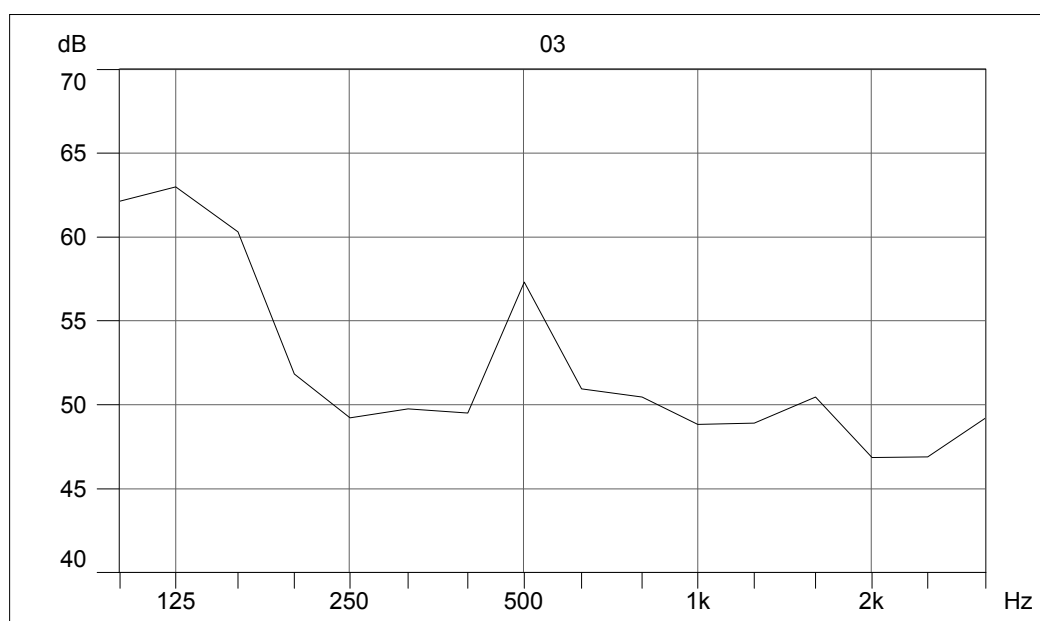


FIGURA 36 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 8.

Os valores dos coeficientes de isolamento acústico medido e simulado com a utilização do *software Bastian*, para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 8.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)	R'_w – SIMULADO dB(A)
1	26	25,5
2	26	27,7
3	25	26,3

Observando-se os valores dos coeficientes de isolamento acústico na Tabela 21, verifica-se uma grande proximidade entre os coeficientes medidos e simulados para as partições avaliadas, isto leva a conclusão que o *software Bastian* apresentou um bom desempenho na predição do isolamento ao ruído aéreo entre os cômodos desta edificação.

Constatou-se também, que os coeficientes medidos nas partições internas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 22 são apresentados os valores da medição e da simulação das fachadas avaliadas.

TABELA 22 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 8.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)	$R'_{TR,S,W}$ – SIMULADO dB(A)
4	20	23,8
5	20	23,5

Os valores da Tabela 22 apresentam similaridade entre os coeficientes medidos e simulados. Isto mostra que o *software Bastian* apresentou uma performance razoável na simulação dos coeficientes de isolamento acústico das fachadas avaliadas.

Esta performance pode ter sido um pouco prejudicada pelo fato de existir aberturas no forro da residência para permitir a visualização do madeiramento do telhado.

Os coeficientes de isolamento medidos mostraram-se inaceitáveis quando comparados com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando estes valores são comparados com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 68 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.9. RESIDÊNCIA 9

Casa edificada no bairro do Cajuru e mostrada na Figura 37.

Paredes construídas em madeira com 2,5 cm de espessura, forro de lambri de madeira e portas de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. As janelas são de madeira com vidros simples.

Nesta residência foram avaliadas 3 divisórias internas e 1 fachada. Porém, não foi possível realizar a simulação das partições avaliadas com a utilização do software *Bastian*, pois não foram encontrados resultados de medições laboratoriais dos elementos construtivos que compõem esta edificação. Na Figura 38 as partições avaliadas estão hachuradas e numeradas de 1 a 4.



FIGURA 37 – RESIDÊNCIA 9.

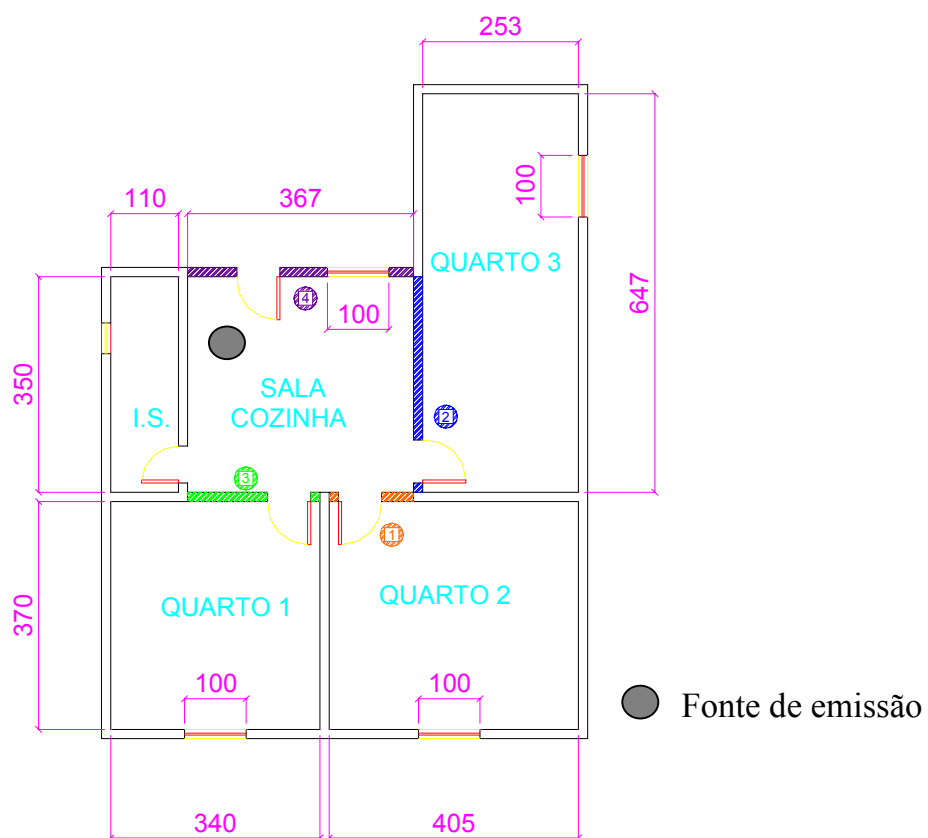


FIGURA 38 -LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 9.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa e o espectro deste ruído é apresentado na Figura 39.

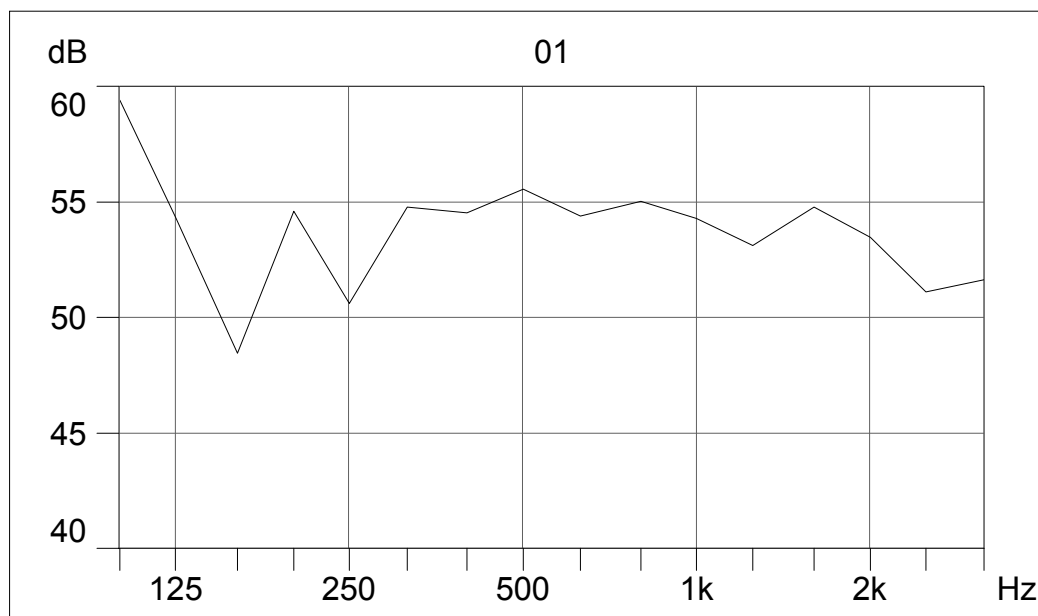


FIGURA 39 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 9.

Os valores dos coeficientes de isolamento acústico, medidos para as divisórias internas avaliadas, são apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 9.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)
1	20
2	23
3	23

Constatou-se, observando a Tabela 23, que os coeficientes medidos nas partições internas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 24 é apresentado o valor da medição da fachada avaliada.

TABELA 24 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 9.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)
4	16

O coeficiente de isolamento medido mostrou-se inaceitável, quando comparado com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido na medição ficou bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

Quando este valor de 16 dB(A) é comparado com o que a norma exige para o local, considerando que o ruído externo medido na região foi de 66,5 dB(A), este se mostra ainda mais deficitário, pois neste caso a norma recomenda um coeficiente de isolamento mínimo de 40 dB(A).

5.10. RESIDÊNCIA 10

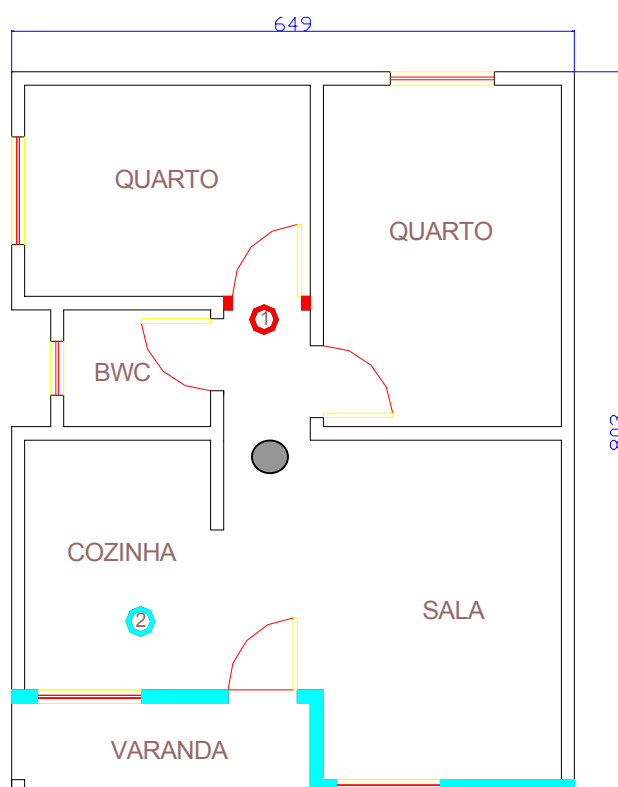
Casa experimental construída no bairro Sítio Cercado, dentro da vila tecnológica e mostrada na Figura 40.

Paredes de madeira com revestimento externo em *Blockboard*, forro em pinho com encaixe tipo macho e fêmea, portas de madeira. As janelas são de madeira de correr com vidro simples.

Nesta residência foram avaliadas 1 divisória interna e 1 fachada. Porém, não foi possível realizar a simulação das partições avaliadas com a utilização do software *Bastian*, pois não se encontraram resultados de medições em laboratório dos elementos construtivos que compõem esta edificação. Na Figura 41 as partições avaliadas estão hachuradas e numeradas de 1 a 2.



FIGURA 40 – RESIDÊNCIA 10.



● Fonte de emissão

FIGURA 41 - LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 10.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa, porem devido ao baixo tráfego de automóveis na região, foi necessário ficar transitando com um carro na frente da edificação para simular o ruído de um local com grande movimentação de veículos. O espectro deste ruído é apresentado na Figura 42.

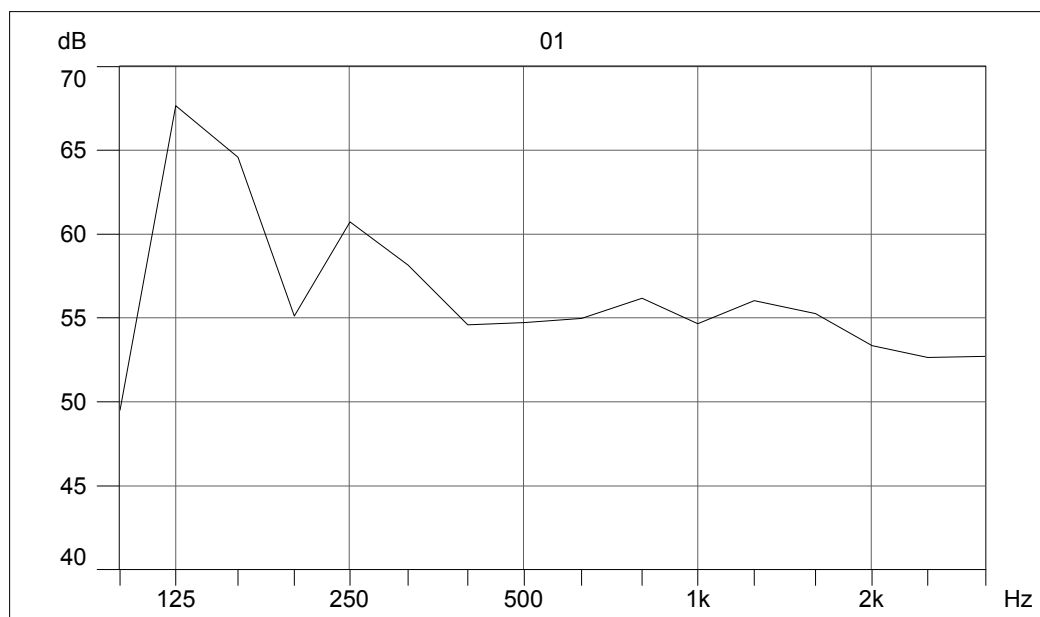


FIGURA 42 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 10.

O valor do coeficiente de isolamento acústico, medido na divisória interna avaliada, é apresentado na Tabela 25.

TABELA 25 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 10.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)
1	25

Constatou-se, observando a Tabela 25, que o coeficiente medido na partição interna avaliada apresentou um valor abaixo do aceitável, se comparado com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 26 é apresentado o valor da medição da fachada avaliada.

TABELA 26 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 10.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)
2	18

O coeficiente de isolamento medido mostrou-se inaceitável quando comparado com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido na medição ficou bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A). Fator que influenciou o desempenho da fachada foi o péssimo estado de conservação da porta.

5.11. RESIDÊNCIA 11

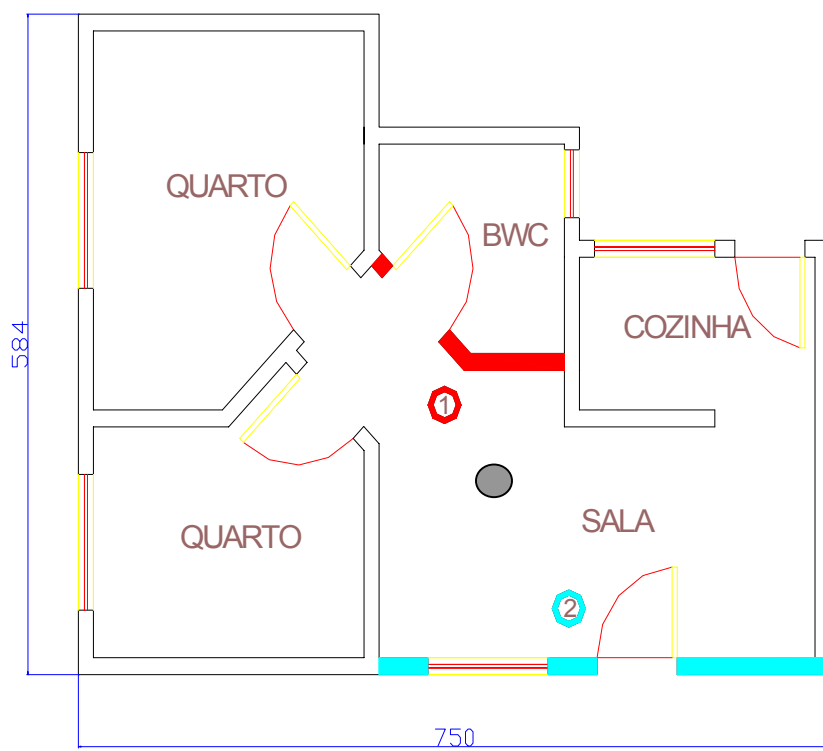
Casa experimental construída no bairro Sítio Cercado, dentro da vila tecnológica e mostrada na Figura 43.

Paredes com núcleo de poliestireno expandido envolto em telas de aço e argamassa projetada, forro em pinho com encaixe tipo macho e fêmea e portas de madeira. As janelas são de ferro de correr com vidros simples.

Nesta residência foram avaliadas 1 divisória interna e 1 fachada. Porém, não foi possível realizar a simulação das partições avaliadas com a utilização do software *Bastian*, pois não se encontraram resultados de medições em laboratório dos elementos construtivos que compõem esta edificação. Na Figura 44 as partições avaliadas estão hachuradas e numeradas de 1 a 2.



FIGURA 43 – RESIDÊNCIA 11.



● Fonte de emissão

FIGURA 44 -LOCALIZAÇÃO DAS AVALIAÇÕES – RESIDÊNCIA 11.

Para a medição do coeficiente de isolamento da fachada utilizou-se o ruído de tráfego como fonte externa, porem devido ao baixo tráfego de automóveis na região foi necessário ficar transitando com um carro na frente da edificação para simular o ruído de um local com grande movimentação de veículos. O espectro deste ruído é apresentado na Figura 45.

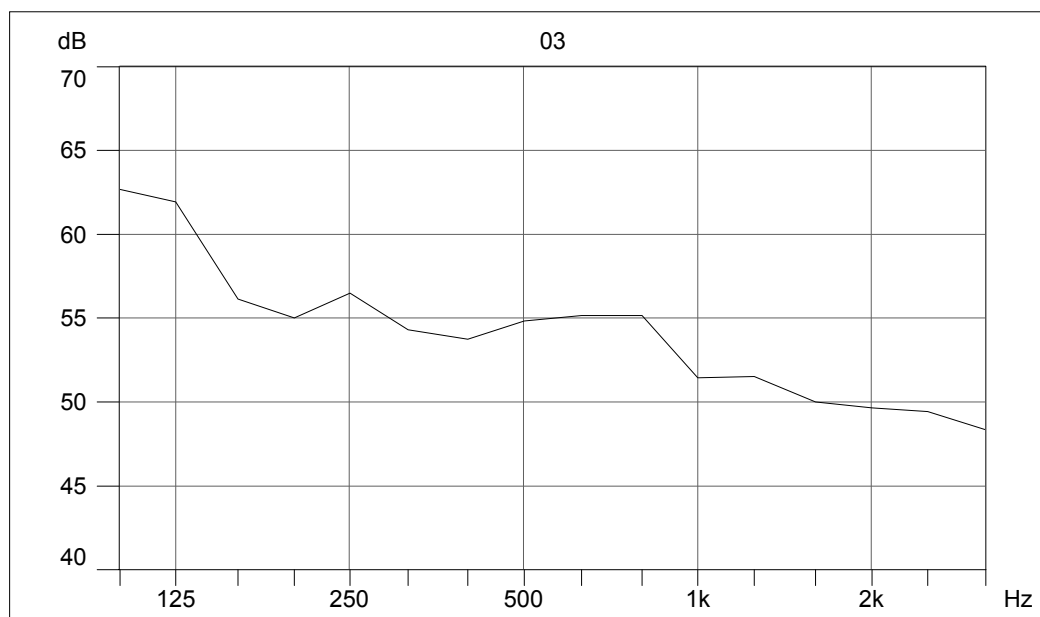


FIGURA 45 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS DO RUÍDO DE TRÁFEGO – RESIDÊNCIA 11.

O valor do coeficiente de isolamento acústico medido na divisória interna avaliada é apresentado na Tabela 27.

TABELA 27 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO AÉREO ENTRE CÔMODOS – RESIDÊNCIA 11.

PARTIÇÃO	R'_w – MEDIDO dB(A)
1	30

Constatou-se, observando a tabela 27, que o coeficiente medido na partição interna avaliada apresentou um valor abaixo do aceitável, se comparado com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Na Tabela 28 é apresentado o valor da medição da fachada avaliada.

TABELA 28 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO RUÍDO NA FACHADA – RESIDÊNCIA 11.

PARTIÇÃO	$R'_{TR,S,W}$ – MEDIDO dB(A)
2	18

O coeficiente de isolamento medido mostrou-se inaceitável quando comparado com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que o valor obtido na medição ficou bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A). Como na residência anterior, o desempenho da fachada foi influenciado pelo péssimo estado de conservação da porta.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SOFTWARE *BASTIAN* NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE OS CÔMODOS DAS EDIFICAÇÕES AVALIADAS

A Figura 46 apresenta os resultados medidos e simulados dos Índices de Redução Sonora Aparente, entre cômodos, determinados em campo, nas residências avaliadas.

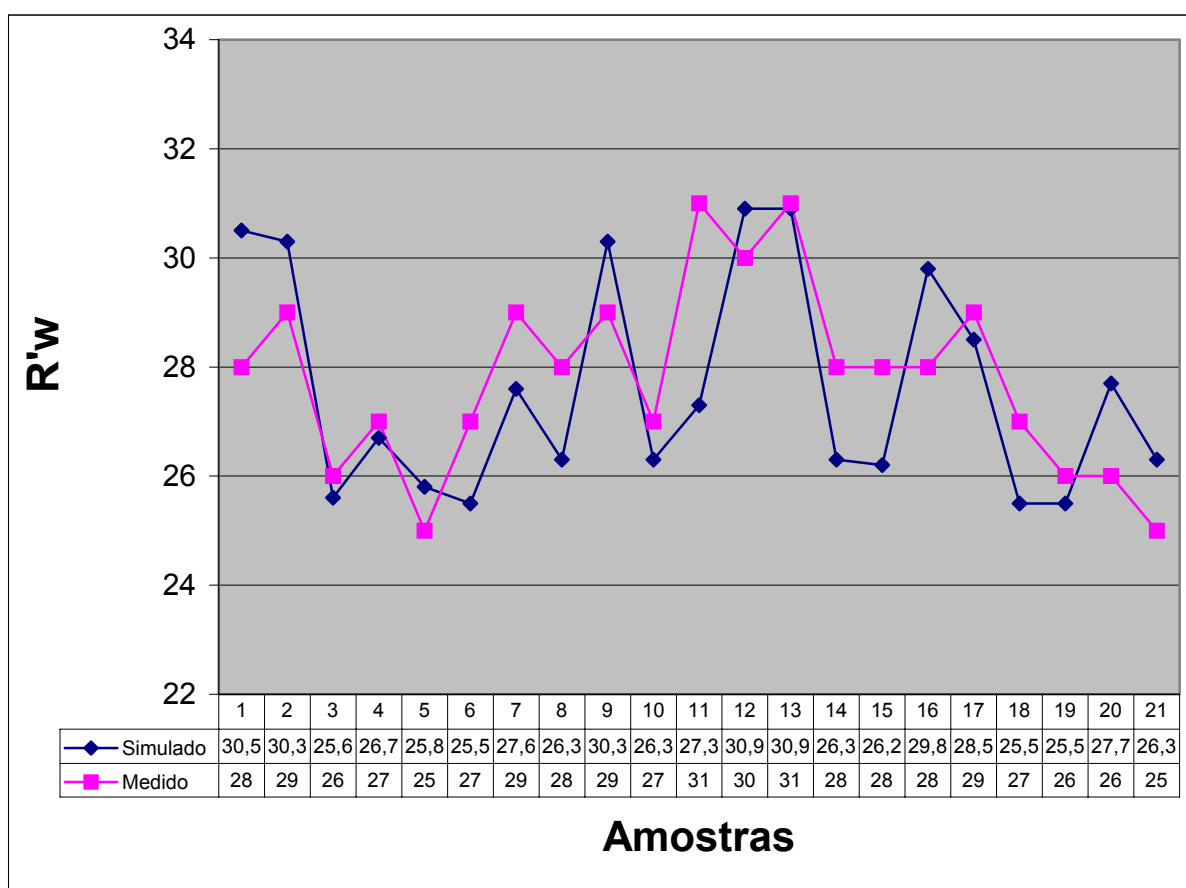


FIGURA 46 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MEDIDOS E SIMULADOS ENTRE CÔMODOS.

Na Figura 46 é possível observar que houve proximidade entre os valores medidos e simulados, portanto o software *Bastian*, que tem seu método de cálculo embasada na norma EN 12.354-1 (E.N., 2000), apresentou um bom desempenho na simulação do nível de isolamento entre os cômodos das residências avaliadas.

Para corroborar esta afirmação foi realizada uma análise estatística inferencial dos dados, para identificar se as amostras estudadas, simulada e real, apresentariam uma mesma característica, a saber o coeficiente de isolamento “ R'_w ”. A estatística inferencial foi escolhida para que se pudesse ao final generalizar para a população o que foi observado nas amostras.

Dentro da estatística inferencial optou-se pela realização de um teste de hipóteses estatísticas. Um teste de hipótese fundamenta-se em um conjunto de regras, que permitem, a partir dos resultados experimentais (amostrais) rejeitar ou não tal hipótese, associado a esta decisão uma determinada confiança.

Inicialmente foi realizada a análise estatística descritiva das amostras. Foram calculados valores de medidas de posição (valores únicos que representam uma característica da amostra) e dispersão (valores de intervalo em torno de um valor característico da amostra). Com estes resultados foi verificada a normalidade das amostras através da análise gráfica da função *Q-QPLOT*, onde ambas apresentaram distribuição normal.

Em seguida, foi calculado o grau de associação de covariância entre as variáveis, contudo, este valor não foi determinístico dentro do estudo, servindo somente como parcela no desenvolvimento dos testes estatístico. As covariâncias encontradas eram aproximadamente iguais, admitindo-se um erro de variabilidade de 5% (critério rigoroso).

As amostras foram submetidas a um teste estatístico sequencial, onde se comprovou a independência entre as variáveis das amostras. Após a comprovação de independência entre as variáveis, o teste inferencial adequado para comparação entre as amostras seria o de comparação de médias entre populações. Dentre os inúmeros testes de comparação entre médias, optou-se pelo teste de *T-Hotelling*, onde as amostras devem apresentar as seguintes características: 1) tamanho da amostra menor

ou igual que 30; 2) distribuição normal; 3) variáveis independentes; e 4) covariâncias reais aproximadamente iguais.

Foi então formulada uma hipótese inicial “H₀” que admitia que as médias estimadas das amostras eram iguais, condição esta que indica que as amostras são semelhantes, pois a média é um valor único que representa a amostra, assim:

$$H_0 : \underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2 = 0$$

ou

$$H_0 : \underline{\mu}_1 = \underline{\mu}_2$$

Onde:

μ_1 = média dos parâmetros simulados;

μ_2 = média dos parâmetros medidos.

A estatística do teste de *T-Hotelling* (T^2) é dada pela expressão 9:

$$T^2 \cdot \frac{n_1 + n_2 - p - 1}{(n_1 + n_2 - 2) \cdot p} \leq F_{p, n_1 + n_2 - p - 1}^{(\alpha)} \quad (9)$$

Onde:

$$T^2 = [(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)]' \cdot \left[\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) Sp \right]^{-1} \cdot [(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)];$$

n_1 e n_2 = tamanhos das amostras;

p = número de variáveis;

α = nível de significância;

$F_{p, n_1 + n_2 - p - 1}^{(\alpha)}$ = valor na distribuição *F-Normal*.

Este cálculo fornece um valor único. Aceita-se “H₀” se o valor encontrado no cálculo da estatística do teste for igual ou inferior ao valor retirado da tabela para uma

curva *F-Normal* (distribuição gaussiana), em função das características das amostras (tamanho “n” da amostra e número de variáveis “p”), que definem os seus graus de liberdade, e do nível de significância adotado de 5%.

O nível de significância considerado para o teste foi de 5% (critério rigoroso), isto é, a possibilidade do teste estar correto é de 95%. A hipótese inicial foi confirmada, pois a condição para sua aceitação de que a estatística do teste apresentasse um valor menor que o da *F-Normal* foi atendida, pois a estatística do teste resultou no valor 0,1202, conseqüentemente, menor que o valor da *F-Normal* que foi de 4,0847. Portanto, a hipótese de igualdade das médias foi confirmada, o que significa dizer que as amostras são iguais ou semelhantes com um intervalo de confiabilidade de 95%.

6.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SOFTWARE *BASTIAN* NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS FACHADAS AVALIADAS

A Figura 47 apresenta os resultados medidos e simulados dos Índices de Redução Sonora Aparente das fachadas, determinados em campo, nas residências avaliadas.

Na Figura 47 é possível observar que houve proximidade entre os valores medidos e simulados, portanto, o software *Bastian*, que tem seu método de cálculo embasado na de norma EN 12.354-3 (E.N., 2000), apresentou um bom desempenho na simulação do nível de isolamento das fachadas das residências avaliadas, havendo uma discordância maior, apenas nas amostras 11 a 14, referentes às residências 7 e 8, sendo que na residência 8 o resultado medido foi prejudicado pelo fato de existir aberturas no forro da residência para permitir a visualização do madeiramento do telhado. Porém, esta diferença ficou na ordem de 3 dB(A), que foi recomendado como o valor do

coeficiente de segurança a ser utilizado quando se utiliza o software *Bastian* comercialmente.

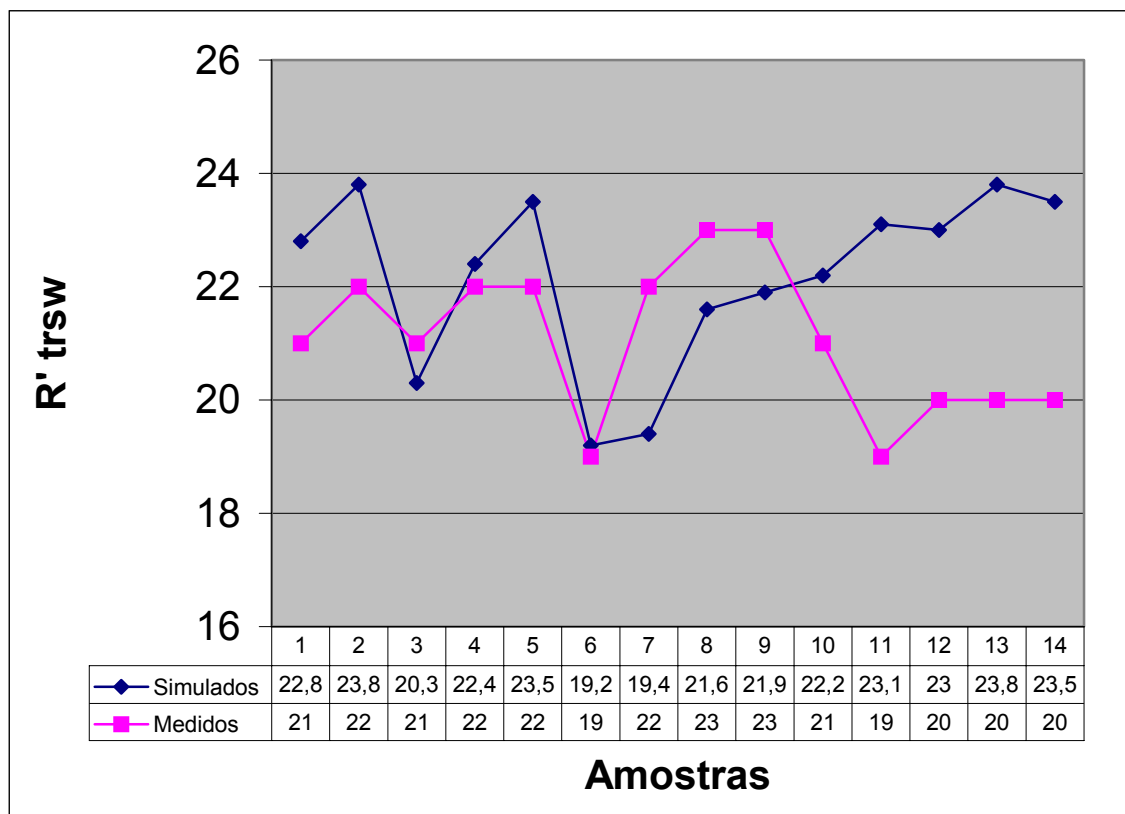


FIGURA 47 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MEDIDOS E SIMULADOS DAS FACHADAS.

Este valor do coeficiente de segurança de 3 dB(A) foi sugerido pelo pesquisador dinamarquês SIMMONS, que publicou trabalhos sobre a norma EN 12.35-4 (SIMMONS, 2002, 2001). Esta sugestão foi em forma de confidência privada através de *e-mail* com as seguintes palavras “... we advise the users to keep 3 dB margin to requirements when calculating their building projects ...”.

Para corroborar a conclusão de que o software *Bastian* apresentou um bom desempenho, foi realizada uma análise estatística inferencial dos dados utilizando o teste de comparação de médias de *T-Hotelling*, que foi escolhido por ser o mais adequado em função das seguintes premissas testadas: 1) tamanho da amostra menor

ou igual a 30; 2) distribuição normal; 3) variáveis independentes; e 4) covariâncias reais iguais.

Foi então formulada uma hipótese inicial “ H_0 ”, onde admitiu-se $\mu_1 = \mu_2$, ou seja, a média dos parâmetros medidos (μ_1) é igual a média dos parâmetros simulados (μ_2), utilizando um nível de significância de 5% (critério rigoroso), isto é, a possibilidade do teste estar correto é de 95%.

A hipótese inicial foi confirmada, pois a condição para sua aceitação de que a estatística do teste apresentasse um valor menor que o da *F-Normal* foi atendida, pois a estatística do teste resultou no valor 4,1182, conseqüentemente, menor que o valor da *F-Normal* de 4,2252. Portanto, a hipótese de igualdade das médias foi confirmada, o que significa dizer que as amostras são iguais ou semelhantes com um intervalo de confiabilidade de 95%.

6.3. AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE OS CÔMODOS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS

A Tabela 29 apresenta os resultados dos Índices de Redução Sonora Aparente, entre cômodos, determinados em campo nas 11 residências avaliadas.

TABELA 29 - RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DO ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO ENTRE OS CÔMODOS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS.

continua			
AMOSTRA	RESIDÊNCIA	PARTIÇÃO	R'_w
1	1	1	28
2	1	2	29
3	1	3	26
4	1	4	27
5	2	1	25
6	2	2	27
7	3	1	29
8	4	1	28
9	4	2	29

TABELA 29 - RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DO ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO ENTRE OS CÔMODOS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS.

AMOSTRA	RESIDÊNCIA	PARTIÇÃO	conclusão
			R'_w
10	4	3	27
11	5	1	31
12	5	2	30
13	5	3	31
14	6	1	28
15	7	1	28
16	7	2	28
17	7	3	29
18	7	4	27
19	8	1	26
20	8	2	26
21	8	3	25
22	9	1	20
23	9	2	23
24	9	3	23
25	10	1	25
26	11	1	30

Constata-se, na Tabela 29, que em todas as residências avaliadas, os índices de redução sonora, entre os cômodos analisados, apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

Os baixos valores de isolamento interno, encontrados nas residências que possuíam paredes de alvenaria, blocos de concreto ou *Dry Wall*, devem-se as portas utilizadas que apresentam “ R'_w ” na faixa de 10 a 20 dB(A) (LIPS, 1999), e que são comumente utilizadas na construção civil brasileira, mas que segundo LIPS (1999), não são adequadas para serem usadas em dormitórios. Já as paredes dos materiais supracitados apresentam valores de isolamento elevados com “ R'_w ”, superior a 40 dB(A), determinados por SILVA (2000).

Quanto às demais residências, devido à falta dos coeficientes de isolamento dos materiais que compõem as paredes, não foi possível precisar a causa dos baixos índices de isolamento, porém, sabe-se que as portas utilizadas são as mesmas que as que compõem as demais residências, portanto, apresentam baixos índices de isolamento.

A Tabela 30 apresenta a porcentagem da energia sonora que, segundo o software *Bastian*, passa por cada um dos elementos construtivos que compõem a partição 3 da residência 5, que apresenta como coeficiente de isolamento acústico 31 dB(A). Esta residência foi escolhida como exemplo por ser representativa da maioria das amostras estudadas pois foi construída em alvenaria de tijolos de 6 furos e possui portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm.

TABELA 30 – PORCENTAGEM DA ENERGIA SONORA TRANSMITIDA – RESIDENCIA 5, PARTIÇÃO 3.

ELEMENTO CONSTRUTIVO	PARCELA DA ENERGIA SONORA TRANSMITIDA (%)
Parede de separação	3
Porta	94
Parede lateral direita	0
Parede lateral esquerda	0
Piso	1
Teto	1

Na Tabela 30 é possível observar que 94% da energia sonora transmitida pela partição avaliada se transmite através da porta de compensado de madeira.

Com o intuito de reforçar a afirmação de que as baixas qualidades acústicas das portas são responsáveis pelos baixos índices de isolamento das partições avaliadas, realizou-se uma medição entre dois cômodos da residência 5, que são separados entre si por parede de alvenaria sem porta. Este resultado é apresentado na Figura 48.

No canto direito da Figura 48 pode-se verificar que o nível de isolamento acústico desta partição foi de 47 dB(A), portanto muito superior a 31 dB(A) obtido na partição 3, que possui a mesma composição de parede, porém, com uma porta inserida.

Realizou-se também uma simulação substituindo, no modelo construído no *Bastian*, a porta de compensado de madeira utilizada no Brasil, por uma porta de madeira de 35 mm utilizada na Europa. Mesmo sendo este modelo de porta um dos mais simples utilizados na Europa, o cálculo nos indicou que o coeficiente de isolamento da partição passou de 31 dB(A) para 38 dB(A). É possível então perceber que se houver uma melhora na qualidade das portas utilizadas nas residências brasileiras, onde estas passaram a apresentar níveis bem melhores de isolamento acústico entre seus cômodos.

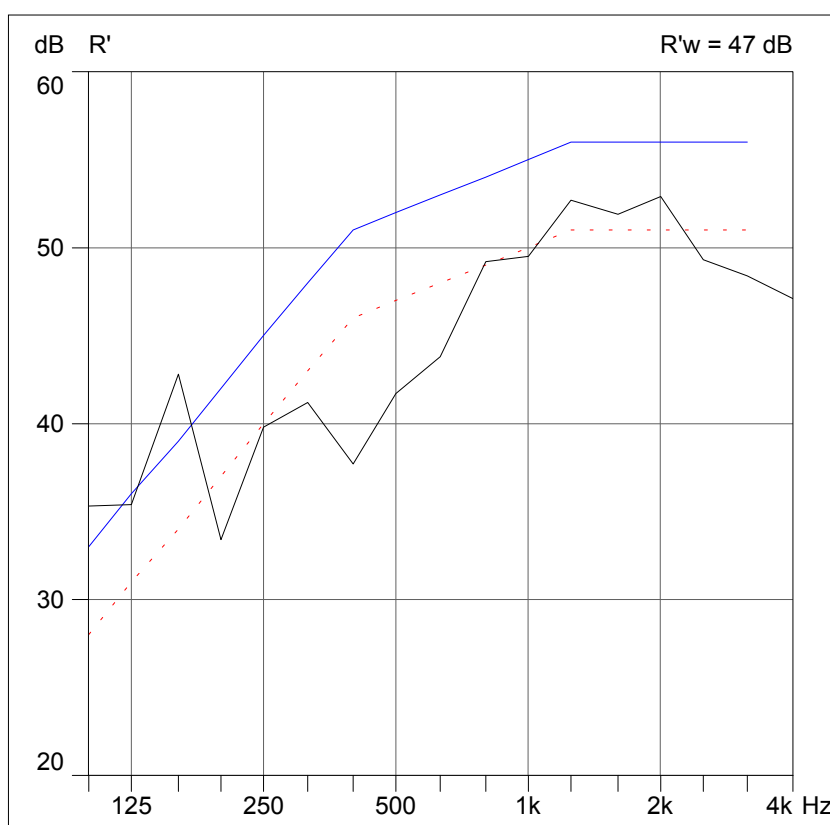


FIGURA 48 – ISOLAMENTO DE PAREDE DE ALVENARIA – RESIDÊNCIA 5.
]

Pode-se verificar também não haver diferença significativa entre os níveis de isolamento apresentados pelas residências de padrão mais elevado, que formam o conjunto das amostras de 1 a 13, e o das residências de padrão popular, que formam o conjunto das demais amostras, já excluídas as de número 22 a 24 que foram obtidas na casa de madeira e que apresentam valores de isolamento inferiores.

Para corroborar esta afirmação foi realizada uma análise estatística inferencial dos dados utilizando o teste de comparação de médias de *T-Hotelling*, que foi escolhido por ser o mais adequado em função das seguintes premissas testadas: 1) tamanho da amostra menor que 30; 2) distribuição normal; 3) variáveis independentes; e 4) covariâncias reais iguais.

Foi então formulada uma hipótese inicial “ H_0 ”, onde admitiu-se $\mu_1 = \mu_2$, ou seja, a média das residências de alto padrão “ μ_1 ” é igual a média das residências de baixo padrão “ μ_2 ”, utilizando um nível de significância de 5% (critério rigoroso), isto é, a possibilidade do teste estar correto é de 95%.

A hipótese inicial foi confirmada, pois a condição para sua aceitação de que a estatística do teste apresentasse um valor menor que o da *F-Normal* foi atendida, pois a estatística do teste resultou no valor 4,1182, conseqüentemente, menor que o valor da *F-Normal* de 4,2252. Portanto, a hipótese de igualdade das médias foi confirmada, o que significa dizer que as amostras são iguais ou semelhantes com um intervalo de confiabilidade de 95%.

Esta constatação leva a reflexão de que os construtores não estão levando em consideração o conforto acústico na hora de projetar e construir as residências, pois pessoas que adquirem residências de alto padrão podem pagar por elementos construtivos que venham a lhes proporcionar mais conforto, e se não o fazem é por desconhecimento ou falta de opção.

6.4. AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS FACHADAS AVALIADAS

A Tabela 31 apresenta os resultados dos Índices de Redução Sonora Aparente das fachadas, determinados em campo nas 11 residências avaliadas.

TABELA 31 - RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS FACHADAS DAS RESIDÊNCIAS AVALIADAS.

AMOSTRA	RESIDÊNCIA	PARTIÇÃO	R'_{trsw}
1	1	5	21
2	2	3	21
3	2	4	22
4	2	5	22
5	3	2	22
6	3	3	19
7	4	4	22
8	5	4	23
9	6	2	21
10	6	3	23
11	7	5	19
12	7	6	20
13	8	4	20
14	8	5	20
15	9	4	16
16	10	2	18
17	11	2	18

Constata-se, na Tabela 31, que em todas as 11 residências avaliadas os índices de redução sonora aparente das fachadas analisadas, apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109 (DIN, 1989), que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Neste caso, pode-se observar que os valores obtidos nas medições ficaram bem abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

As baixas performances quanto aos níveis de isolamento das fachadas avaliadas, nas residências com paredes de alvenaria ou blocos, devem-se às janelas utilizadas, principalmente ao caixilho, que é o principal elemento responsável por determinar o índice de isolamento de uma janela (BARING, 1990).

O modelo de janela mais utilizada, na maioria das fachadas avaliada, é a janela de alumínio de correr. Seu índice de isolamento de ruído determinado em laboratório “ R_w ”, apresentou o valor de 17 dB(A), medido por RECCHIA (2001). Outro ensaio

efetuado em seu trabalho foi a avaliação desta janela inserida em uma parede de alvenaria, e o resultado levantado em laboratório foi $R_w = 20 \text{ dB(A)}$.

Quanto às demais residências, devido à falta dos coeficientes de isolamento dos materiais que compõem as paredes, não foi possível precisar a causa dos baixos índices de isolamento, porém, sabe-se que as janelas utilizadas apresentam baixos índices de isolamento, conforme medição em laboratório realizada por RECHIA (2001).

A Tabela 32 apresenta a porcentagem da energia sonora que, segundo o software *Bastian*, passa por cada um dos elementos construtivos que compõem a partição 4 da residência 5, que apresenta como coeficiente de isolamento acústico 21,6 dB(A). Esta partição foi escolhida como exemplo por ser representativa da maioria das amostras estudadas, pois foi construída em alvenaria de tijolos de 6 furos e possui janela de alumínio de correr com vidro simples.

TABELA 32 – PORCENTAGEM DA ENERGIA SONORA TRANSMITIDA – RESIDENCIA 5, PARTIÇÃO 4.

ELEMENTO CONSTRUTIVO	PARCELA DA ENERGIA SONORA TRANSMITIDA (%)
Parede de separação	1
janela	99
Parede lateral direita	0
Parede lateral esquerda	0
Piso	0
Teto	0

Na Tabela 32 é possível observar que 99% da energia sonora transmitida pela partição avaliada se transmite através da janela de alumínio de correr.

Observando a Figura 48, que mostra o resultado da medição realizada entre dois cômodos da residência 5 separados apenas por parede de alvenaria, e que apresenta coeficiente de isolamento acústico de 47 dB(A), portanto muito superior a 21,6 dB(A) obtido na partição 4, que possui a mesma composição de parede, porém, com uma janela de alumínio de correr, é possível perceber que a janela é o elemento por onde a maior parte da energia sonora se transmite.

Realizou-se também uma simulação substituindo, no modelo construído no *Bastian*, a janela de alumínio de correr utilizada no Brasil por uma de alumínio com vidro de 4mm + câmara de ar de 10mm + vidro de 4mm, utilizada na Europa. Mesmo este modelo de janela sendo um dos mais simples utilizados na Europa, o cálculo nos indicou que o coeficiente de isolamento da partição passou de 21,6 dB(A) para 37 dB(A). É possível então perceber que se houver uma melhora na qualidade das janelas utilizadas nas residências brasileiras, estas passarão a apresentar níveis bem melhores de isolamento acústico em suas fachadas.

Pode-se verificar, também, não haver diferença significativa entre os níveis de isolamento apresentados pelas fachadas das residências de padrão mais elevado, que formam o conjunto das amostras de 1 a 8, e o das residências de padrão popular, que formam o conjunto das demais amostras, já excluída a de número 15, que foi obtida na casa de madeira, e as de número 16 e 17, que foram influenciadas pelo péssimo estado de conservação das portas.

Para corroborar esta afirmação foi realizada uma análise estatística inferencial dos dados utilizando o teste de comparação de médias de *T-Hotelling*, que foi escolhido por ser o mais adequado em função das seguintes premissas testadas: 1) tamanho da amostra menor que 30; 2) distribuição normal; 3) variáveis independentes; e 4) covariâncias reais iguais.

Foi então formulada uma hipótese inicial “ H_0 ” onde admitiu-se $\mu_1 = \mu_2$, ou seja, a média das residências de alto padrão “ μ_1 ” é igual a média das residências de baixo padrão “ μ_2 ”, utilizando um nível de significância de 5% (critério rigoroso), isto é, a possibilidade do teste estar correto é de 95%.

A hipótese inicial foi confirmada, pois a condição para sua aceitação de que a estatística do teste apresentasse um valor menor que o da *F-Normal* foi atendida, pois a estatística do teste resultou no valor 2,1866, conseqüentemente, menor que o valor da *F-Normal* 4,2565. Portanto, a hipótese de igualdade das médias foi confirmada, o que significa dizer que as amostras são iguais ou semelhantes com um intervalo de confiabilidade de 95%.

Esta constatação leva a reflexão de que os construtores não estão levando em consideração o conforto acústico na hora de projetar e construir as residências, pois pessoas que adquirem residências de alto padrão podem pagar por elementos construtivos que venham a lhes proporcionar mais conforto, e se não o fazem é por desconhecimento ou falta de opção.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou, através de medições *in situ*, os coeficientes de isolamento acústico de fachadas e entre os cômodos de residências, compostas por elementos construtivos amplamente utilizados na construção civil brasileira, tomando como modelo o universo construtivo da cidade de Curitiba.

Também fez parte do escopo deste trabalho comparar os coeficientes medidos a coeficientes simulados, com a utilização do software *Bastian 2.0* da empresa *Isover* alemã.

As conclusões obtidas neste trabalho foram as seguintes:

1) Constatou-se que em todas as residências avaliadas os índices de redução sonora entre os cômodos analisados apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os exigidos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109, que prescreve para o isolamento entre os cômodos internos avaliados um valor de “ R'_w ”, índice de isolamento de ruído, recomendado de 37 dB(A) e um valor mínimo de 32 dB(A).

2) Constatou-se também que em todas as 11 residências avaliadas os índices de redução sonora aparente das fachadas analisadas apresentaram valores abaixo dos aceitáveis, se comparados com os prescritos pelas normas internacionais, como a DIN 4.109, que tem seus valores apresentados na Tabela 8. Estes valores são estipulados em função do ruído externo. Nas edificações avaliadas pode-se observar que os valor obtido nas medições ficaram abaixo do mínimo exigido, mesmo para regiões silenciosas, que é de 30 dB(A).

3) Pode-se verificar também não haver diferença significativa entre os coeficientes de isolamento medidos nas residências de padrão elevado e os medidos

nas residências de padrão popular, constatação esta que levou a reflexão de que os construtores não estão levando em consideração o conforto acústico na hora de projetar e construir as residências, pois pessoas que adquirem residências de alto padrão podem pagar por elementos construtivos que venham a lhes proporcionar mais conforto, e se não o fazem é por desconhecimento ou falta de opção.

4) Com relação à utilização do software *Bastian*, que tem seu método de cálculo embasado no conjunto de normas europeias EN 12.354, a conclusão obtida foi que este apresentou um bom desempenho, tanto na simulação dos coeficientes de isolamento das fachadas, quanto entre os cômodos das residências avaliadas. Esta afirmação foi confirmada pelo teste estatístico de igualdade de médias de *T-Hotelling*, que foi realizado com um intervalo de confiança de 95% para a amostra avaliada.

Verificou-se com isto a possibilidade da utilização do software *Bastian* na predição dos coeficientes de isolamento das residências brasileiras, porém, tomando-se o cuidado de modelar corretamente a residência, pois o módulo gráfico do programa só permite a inclusão de geometrias simples, sendo que para geometrias mais complexas faz-se necessário realizar aproximações, porém mantendo o mesmo volume do ambiente, a mesma área da partição exposta diretamente ao ruído e a mesma proporção entre a área de parede e a área dos elementos.

Embora este método de adequação da geometria do ambiente tenha apresentado bons resultados durante a realização deste trabalho, recomenda-se que seja mais bem estudado.

Salienta-se também que o software foi desenvolvido para ser utilizado para a predição dos coeficientes de isolamento acústico na fase de projeto, ou onde não for possível realizar medições, e não objetivando substituir o processo de medições *in situ*, pois sempre que possível este deve ser o método de obtenção dos coeficientes de isolamento acústico a ser utilizado, pois mesmo sendo um processo logisticamente complicado e que traz desconforto aos moradores, caso a edificação esteja ocupada, é o que apresenta maior confiabilidade e precisão.

7.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Verificação do desempenho do software *Bastian* na predição dos coeficientes de isolamento ao ruído de impacto;
- Estudo sobre o método de substituição da geometria utilizado neste trabalho;
- Estudo detalhado da influência de portas e janelas na perda de transmissão de paredes divisórias e fachadas, utilizando o método da intensidade;
- Desenvolvimento de software utilizando o método de cálculo do conjunto de normas EN 12.354, como banco de dados de elementos construtivos utilizados no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FASOLD, W.; VEREZ, E. **Schallschutz und Raumakustik in der Praxis**. 2 ed. Berlin: Verlag für Bauwesen, 422 p., 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Résumé d’Orientation des Directives de l’OMS Relatives au Bruit dans l’Environnement**. Disponível em: <<http://www.who.int/home.page/>> Acesso em: 05 abr. 2003.

CRAIK, B. **What’s is EN 12354**. Edinburgh, 2002. Disponível em: <http://www.ioa.org.uk/meetings/reports/Bs_EN_12354/BS_EN_12354.html> Acesso em: 14 jun. 2002.

METZEN A. H. **Bastian The Building Acoustics Planning System – User Manual**. Berlin: Saint-Gobain Isover, 178 p., 2002.

SAARINEN, A. **Reduction of external noise by building facades: tolerance of standard EN 12354-3**. Applied Acoustics, Finland, v. 63, n. 5, p. 529-545, 2002.

SIMMONS, C. **Simple Presentation of Expected Impact Sound Levels for a test flooring Laid on 35 Standardized Concrete Slabs, Using EN 12354**. Fórum Acústico, Sevilha, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. D; FERREIRA, J. A. C.; SCHUHLLI, R. **Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR**. Revista de Saúde Pública, Curitiba, v. 36, n. 4, p. 521-524, 2002.

RECCHIA, C. **Estudo do Desempenho Acústico dos Elementos Construtivos que Compõe a Fachada**. Santa Maria, 2001, 108 p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.

SIMMONS, C. **Systematic comparison of sound insulation measured in situ with building elements**. Proceedings of the International Congress on Acoustics (ICA), Rome, 2001.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. **Environmental Noise Pollution in Residential Areas of the City of Curitiba**. Acustica Acta Acustica, Brasil, v. 87, p. 625-628, 2001.

LARANJA, R. A. C. **Métodos e Modelos de Predição Sonora por Paredes e Atenuação por Barreiras**. Porto Alegre, 2000, 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, D. T. **Estudo da Isolação Sonora em Paredes Divisórias de Diversas Naturezas**. Santa Maria, 2000, 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.

EUROPEN NORM – EN. **EN 12354-1: Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 1: Airborne sound insulation between rooms**. UK, 2000.

EUROPEN NORM – EN. **EN 12354-3: Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound**. UK, 2000.

LIPS, W. **Lärmbekämpfung in der Haustechnik**. 1 ed. Berlin: Expert-Verlag, 404 p., 1999.

MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure**. Fórum Acústico, Sevilha, v. 85, p. 448, 1999.

BATISTA, N. N. **Importância do Projeto Acústico Como um dos Parâmetros para a Obtenção da Qualidade dos Espaços Edificados**. Rio de Janeiro, 1998, Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FASOLD, W.; VEREZ, E. **Schallschutz und Raumakustik in der Praxis**. 1 ed. Berlin: Verlag für Bauwesen, 376 p., 1998.

HARRIS, C. M. **Noise Control in Buildings: A Pratical Guide for Architects and Engineers**. 2 ed. Nova York: McGraw-Hill, 646 p, 1998.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION – ISO. **ISO 140-3: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements**. Geneva, 1998.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 140-4: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms**. Geneva, 1998.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 140-5: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound of façade elements and façades**. Geneva, 1998.

KAGEYAMA, T.; KABUTO, M.; NITTA, N.; KUROKAWA, Y.; TAIRA, K.; SUZUKI, S.; TAKEMOTO, T. **A cross-sectional study on insomnia among**

Japanese adult women in relation to night-time road traffic noise. Journal of Sound and Vibration, Inglaterra, v. 205, n. 4, p. 387-391, 1997.

OSADA, Y.; YOSHIDA, T.; YOSHIDA, K.; KAWAGUCHI, T.; YOSHIYAMA, Y.; YAMAMOTO, K. **Path analysis of the community response to road traffic noise.** Journal of Sound and Vibration, Inglaterra, v. 205, n. 4, p. 493-498, 1997.

YOSHIDA, T.; OSADA, Y.; KAWAGUCHI, T.; HOSHIYAMA, Y.; YOSHIDA, K.; YAMAMOTO, K. **Effects of Road Traffic Noise on Inhabitants of Tokio.** Journal of Sound and Vibration, Inglaterra, v. 205, n. 4, p. 517-422, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION – ISO. **ISO 717-1: Acoustic – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.** Geneva, 1996.

SAADU, A. A.; ONYEONWU, R. O.; AYORINDE, E. O.; OGISI, F. O. **Community attitudinal noise survey and analysis of eight Nigerian cities.** Applied Acoustics, Grã Bretanha, v. 49, n. 1, p. 49-69, 1996.

MENDEZ, A. *et. al.* **Acústica Arquitetônica.** ed. Bueno Aires, 1994.

BRÜEL & KJAER. **Sound Intensity (primer).** 1 ed. Dinamarca: B&K, 38 p., 1993.

GARCÍA, A.; FAUS, L. J.; GARCÍA, A. M. **The Community Response to Aircraft Noise Around Six Spanish Airports.** Journal of Sound and Vibration, Inglaterra, v. 164, n. 1, p. 45-52, 1992.

GERGES, SAMYR N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2 ed. Florianópolis: Imprensa da Universidade Federal de Santa Catarina, 600, 1992.

SANTOS, J. L. P.; PAIXÃO, D. X. **Qualidade acústica de janelas: realidade e perspectiva.** ed. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 1991.

BARING, J. G. A. **O Desempenho Acústico de Caixilhos de Fachada no Contexto do Controle da Poluição Sonora Urbana.** São Paulo, 1990. 217 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. **DIN 4109: Schallschutz im Hochbau.** Germany, 1989.

BARING, J. G. A. **Isolação Sonora de Paredes e Divisórias.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT/SP. In: **Tecnologia das edificações.** ed. São Paulo, p. 429-434, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION – ISO. **ISO 354: Measurement of Sound Absorption in a Reverberation Room.** Geneva, 1985.

SANCHO, V. M.; SENCHERMES, A. G. **Curso de Acústica em arquitetura.** ed. Madrid: Colégio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM), 1982.

ARIZMENDI, BARNES L. J. **Tratado fundamental de acustica en la edificacion.** ed. Pamplona, 1980.

HECKL, M. **The Tenth Sir Richard Fairey Memorial Lecture: Sound Transmisión in Buildings.** Journal of Sound and Vibration, v. 70, 1980.

MEISSER, M. **Acustica de los Edificios.** ed. Barcelona, 1973.

BERANEK, L. L. **Noise Reduction.** 1 ed. New York: McGraw-Hill, 758, 1960.

APÊNDICE I

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NAS DIVISÓRIAS INTERNAS DOS
COEFICIENTES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO, MEDIDOS EM CAMPO, EM
BANDAS DE FREQUÊNCIA DE 1/3 DE OITAVA E EM FORMA DE NUMERO
ÚNICO:

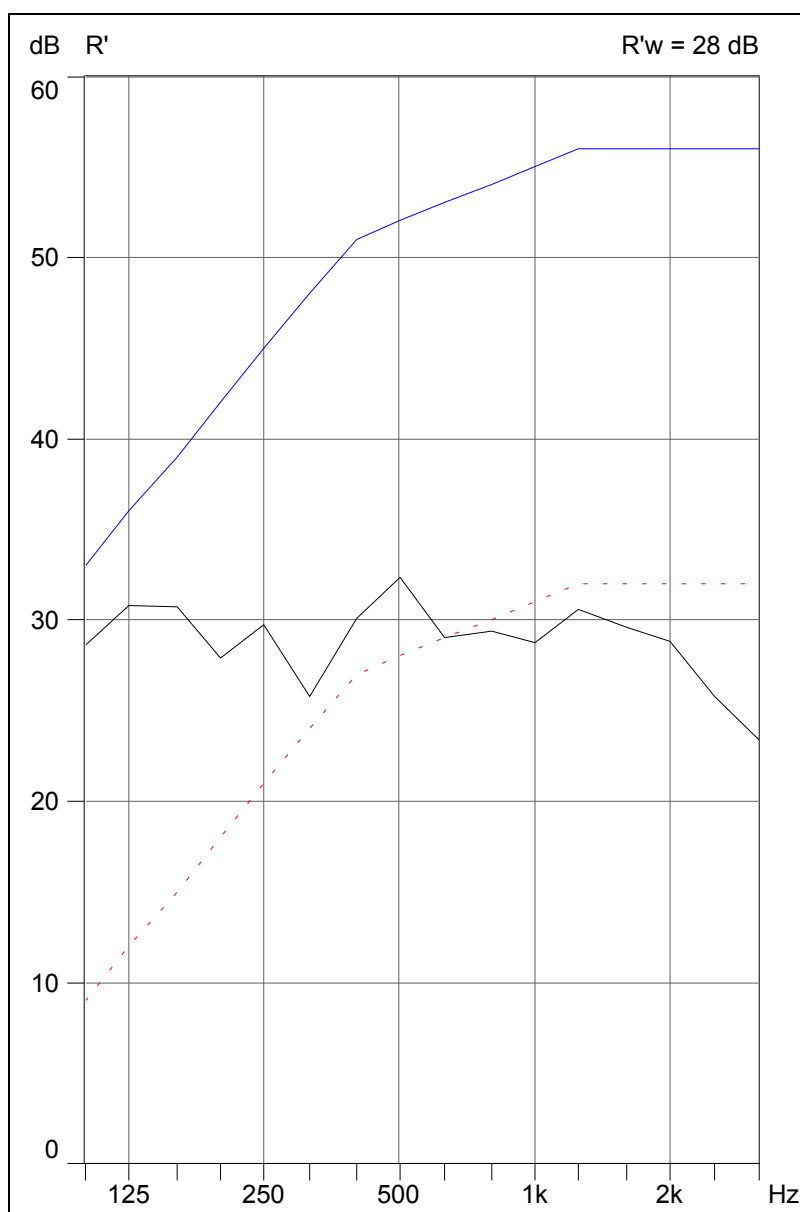
AMOSTRA	RESIDÊNCIA	PARTIÇÃO
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	2	1
6	2	2
7	3	1
8	4	1
9	4	2
10	4	3
11	5	1
12	5	2
13	5	3
14	6	1
15	7	1
16	7	2
17	7	3
18	7	4
19	8	1
20	8	2
21	8	3
22	9	1
23	9	2
24	9	3
25	10	1
26	11	1

AMOSTRA 1

RESIDÊNCIA 1 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 28 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviéra, situado no Bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

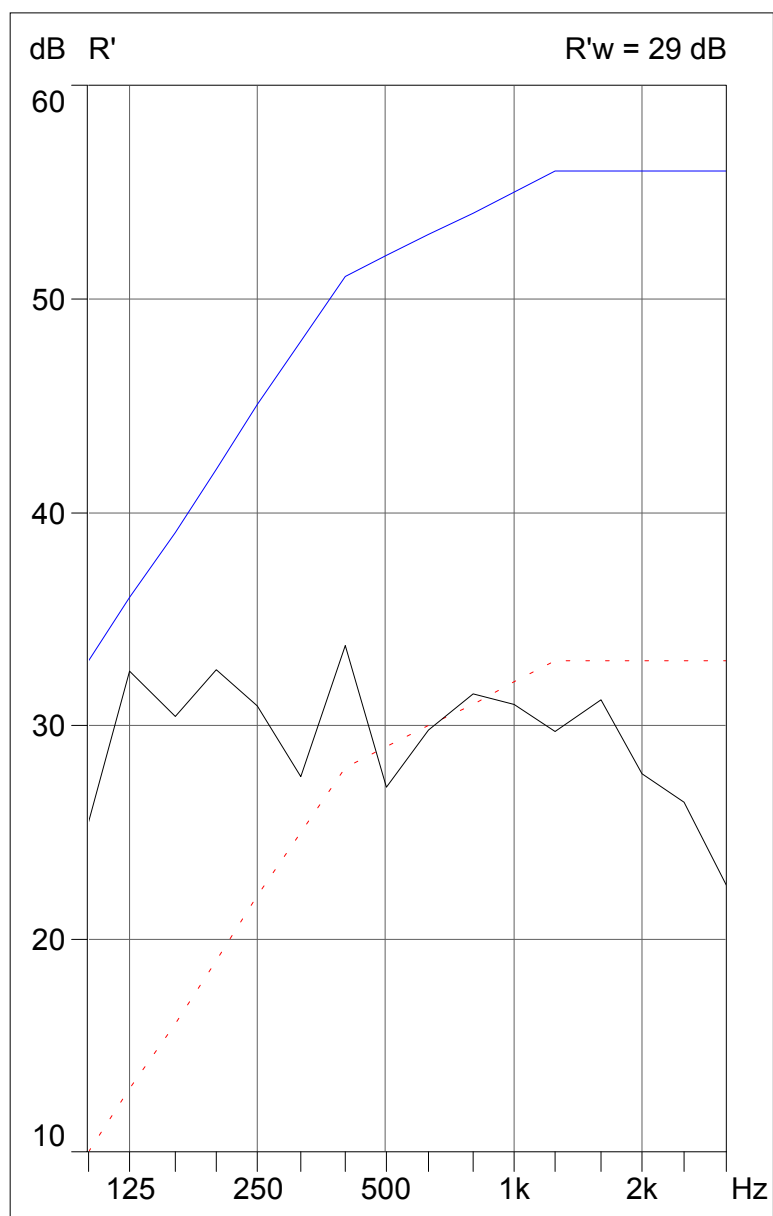


AMOSTRA 2

RESIDÊNCIA 1 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 29 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviéra, situado no Bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

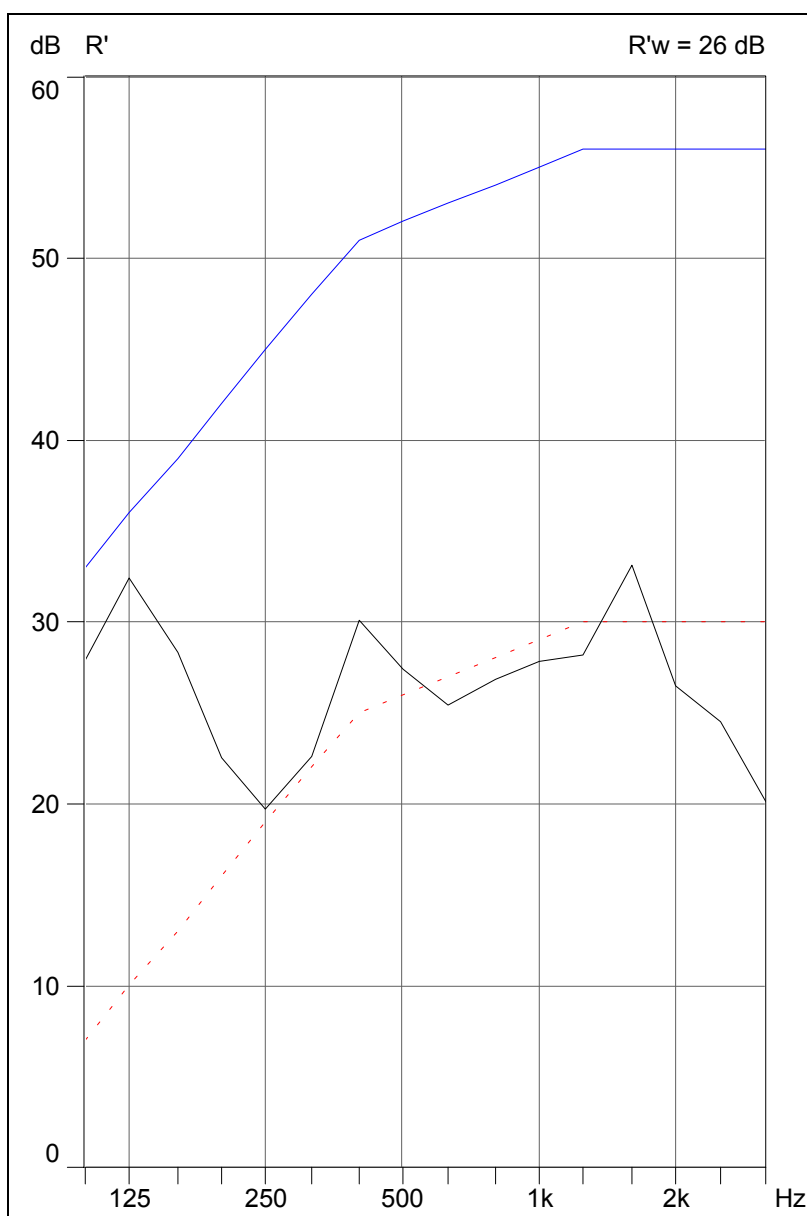


AMOSTRA 3

RESIDÊNCIA 1 – PARTIÇÃO 3

$$R'_w = 26 \text{ dB}$$

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviéra, situado no Bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

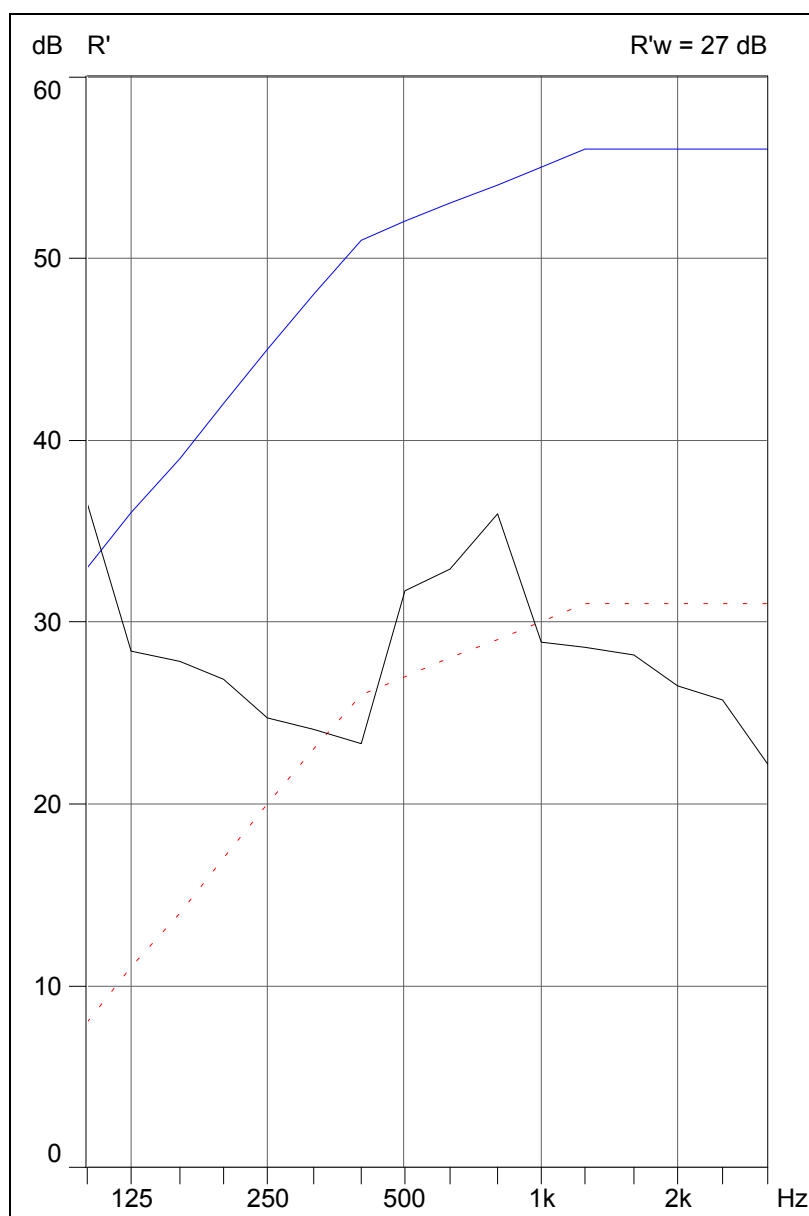


AMOSTRA 4

RESIDÊNCIA 1 – PARTIÇÃO 4

$$R'_w = 27\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviéra, situado no Bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

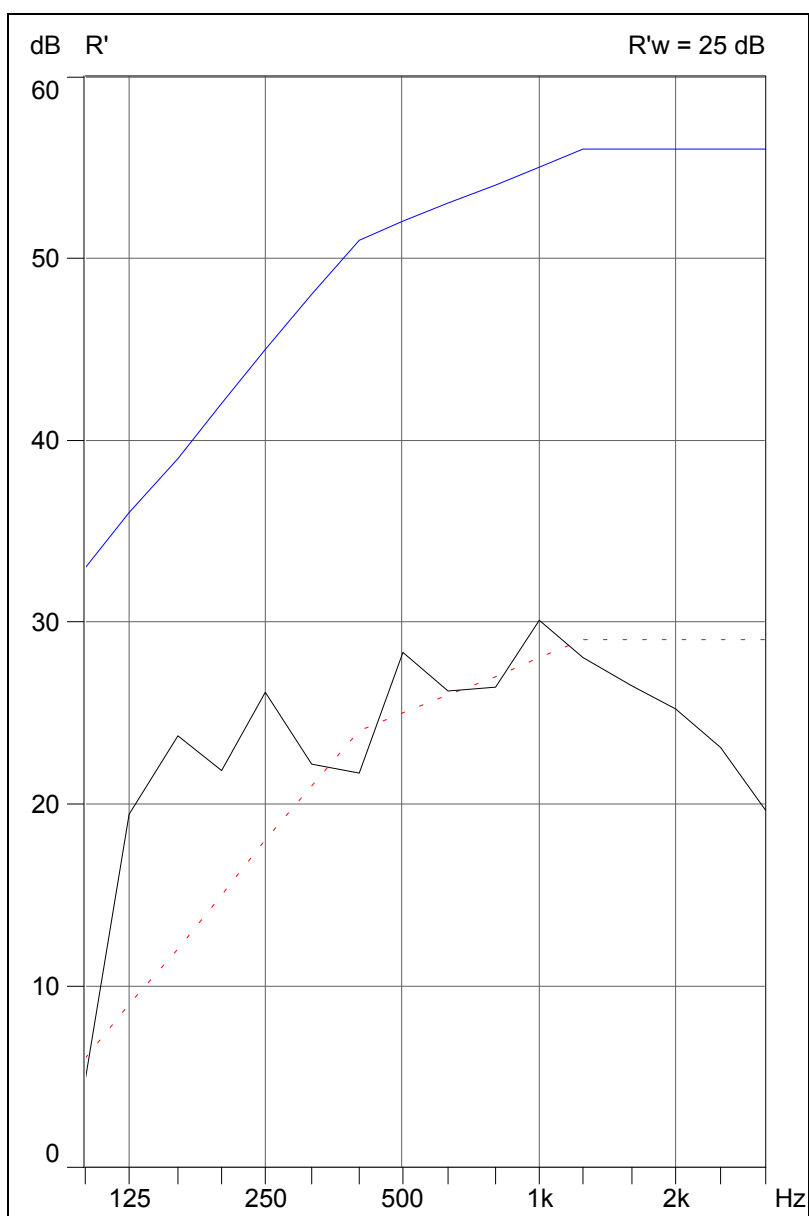


AMOSTRA 5

RESIDÊNCIA 2 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 25 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 17º andar do edifício Bouganville, situado no Centro. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

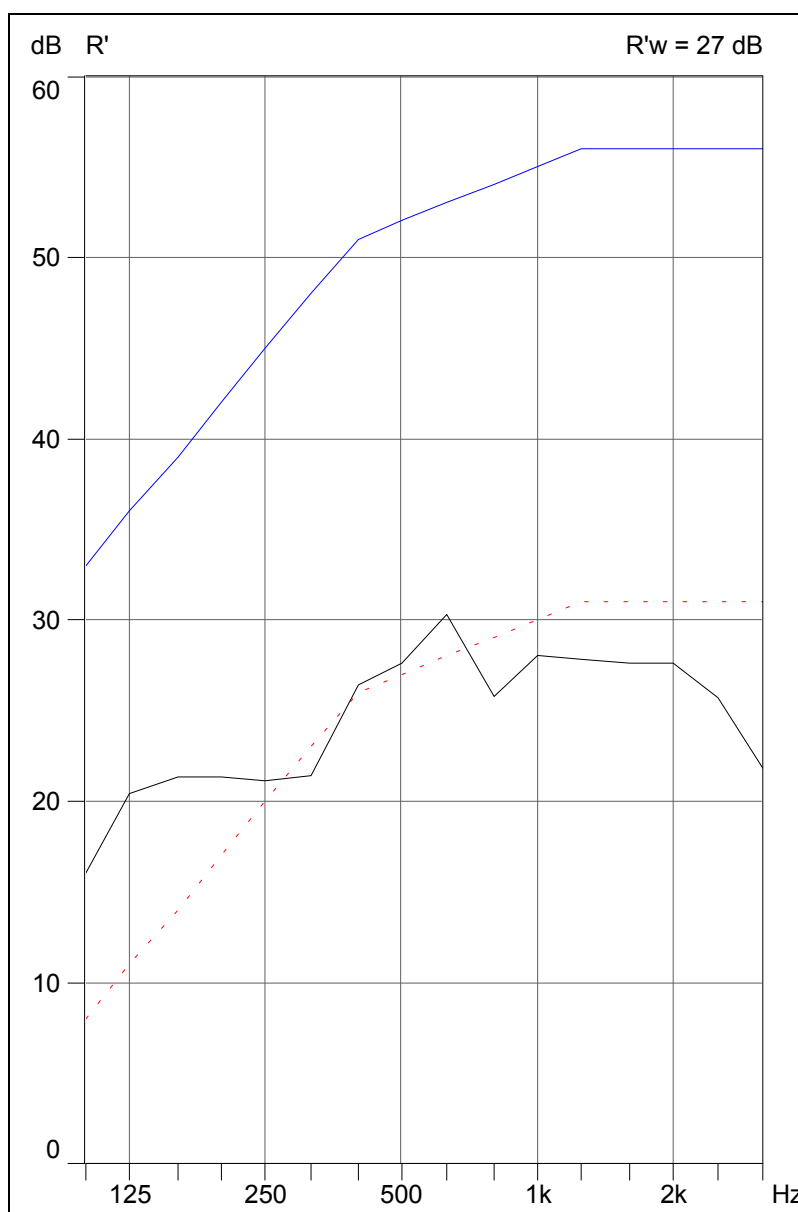


AMOSTRA 6

RESIDÊNCIA 2 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 27 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 17º andar do edifício Bouganville, situado no Centro. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

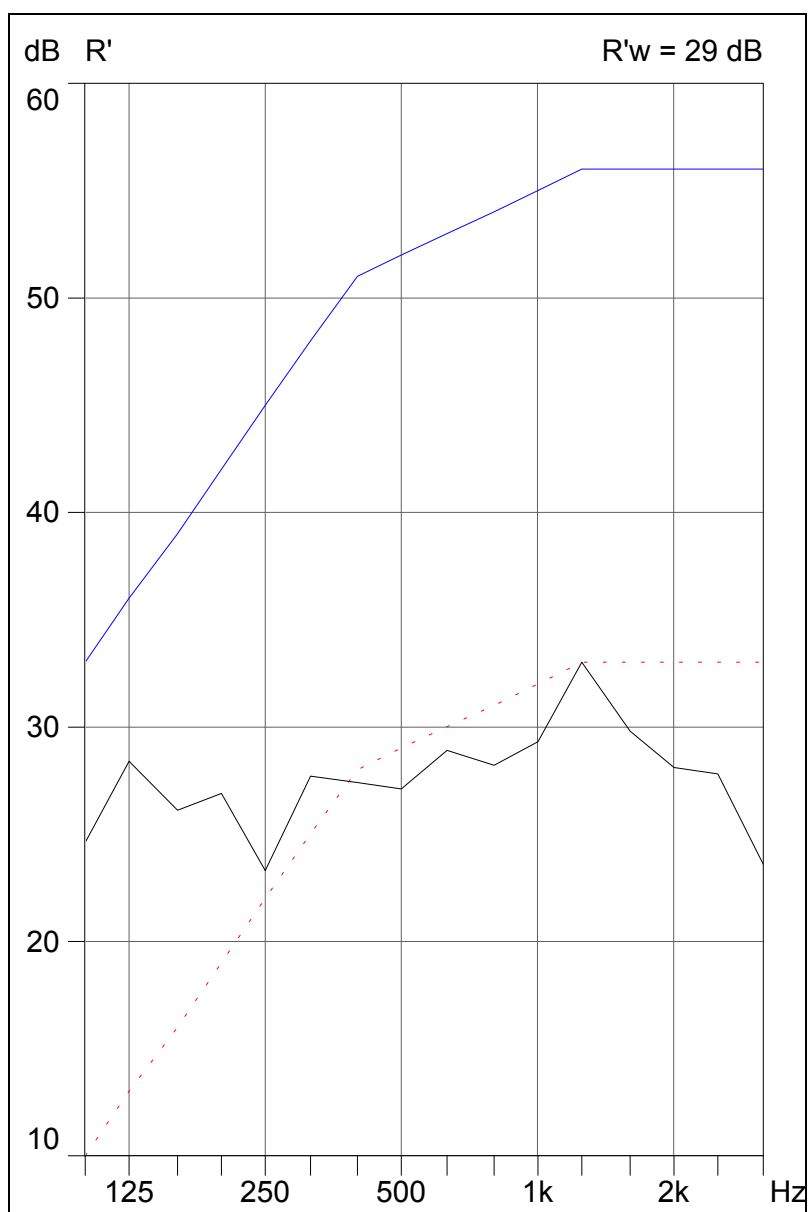


AMOSTRA 7

RESIDÊNCIA 3 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 29 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício Notre Dame, situado no bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

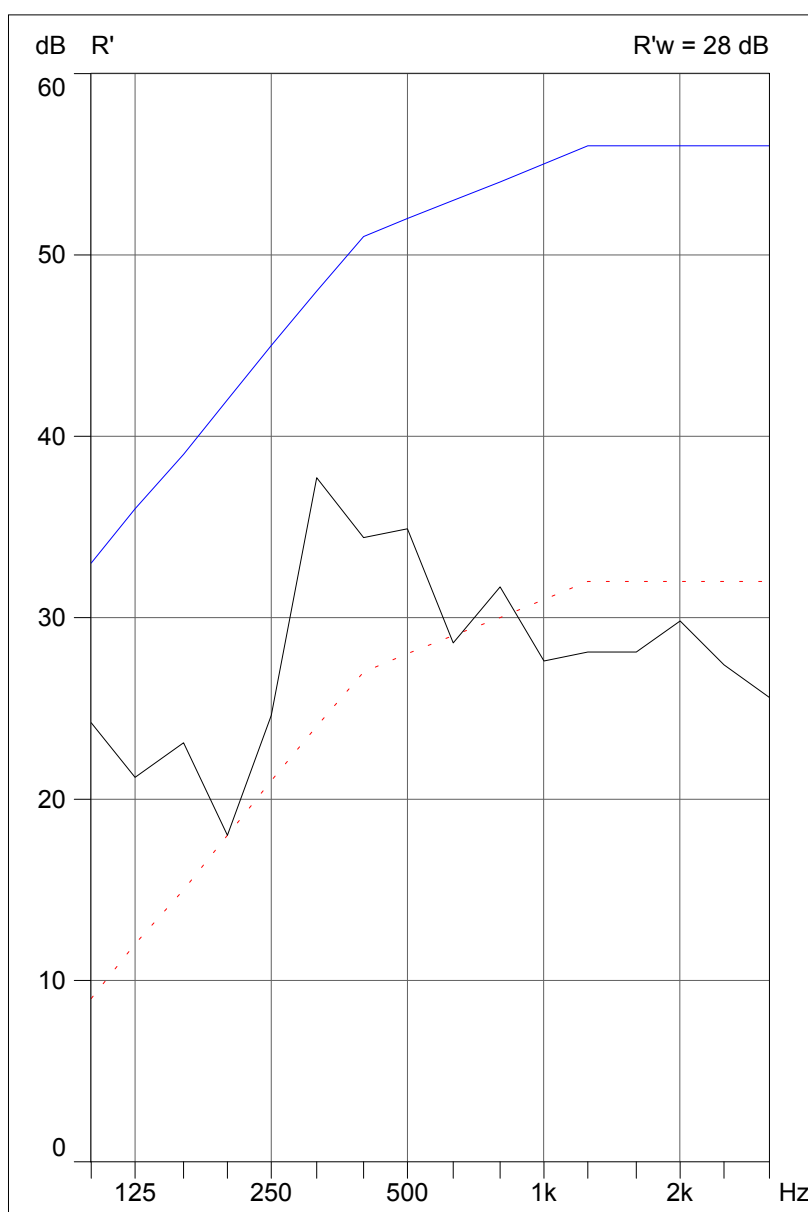


AMOSTRA 8

RESIDÊNCIA 4 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 28\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício La Vie em Rose, situado no bairro Alto da XV. As Paredes externas foram construídas em alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e rebocadas dos dois lados. As divisórias internas são compostas por painéis de gesso acartonado, tipo *Dry Wall*. Lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

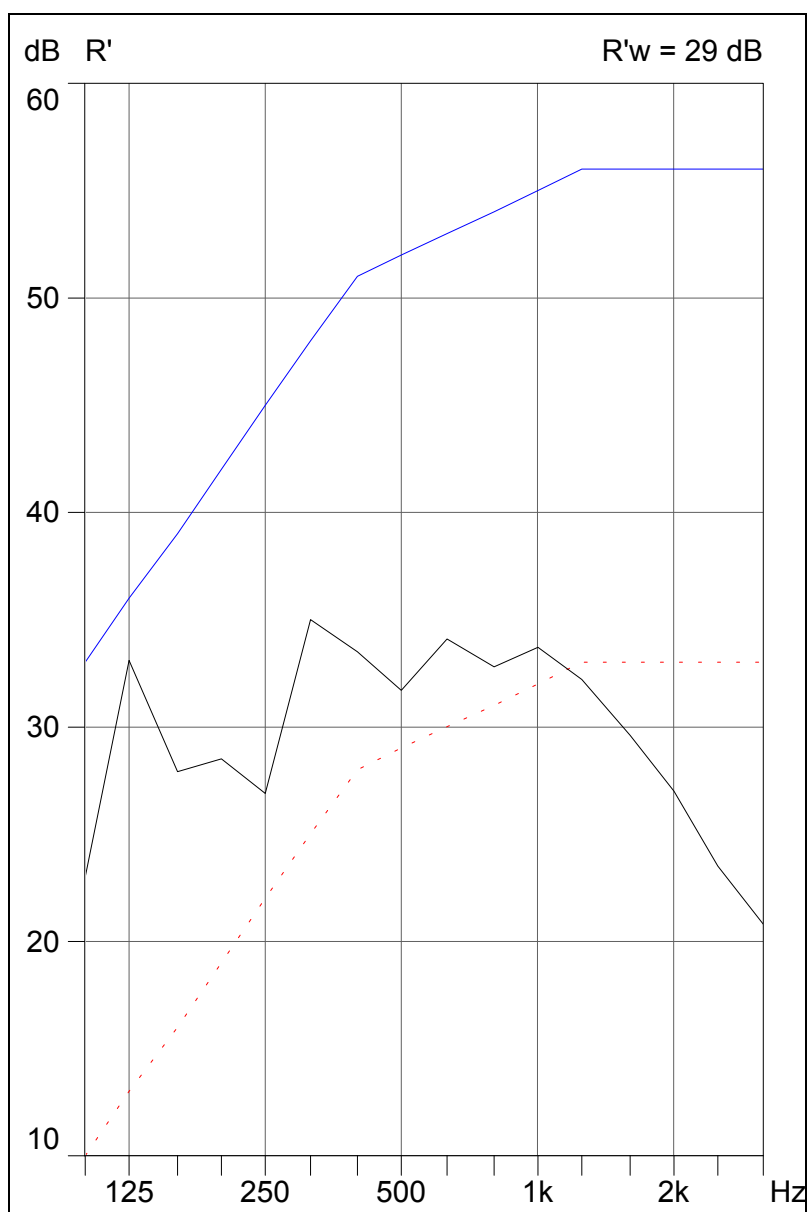


AMOSTRA 9

RESIDÊNCIA 4 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 29 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício La Vie em Rose, situado no bairro Alto da XV. As Paredes externas foram construídas em alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e rebocadas dos dois lados. As divisórias internas são compostas por painéis de gesso acartonado, tipo *Dry Wall*. Lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

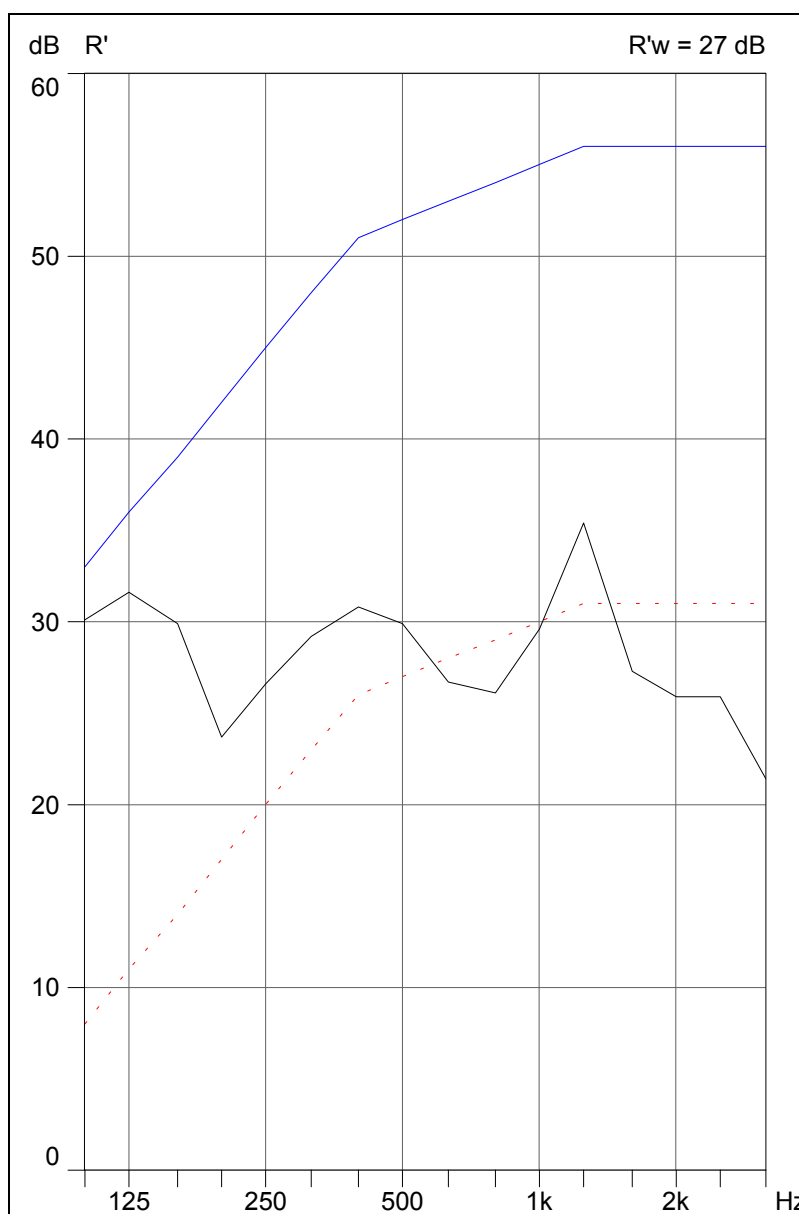


AMOSTRA 10

RESIDÊNCIA 4 – PARTIÇÃO 3

$$R'_w = 27 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício La Vie em Rose, situado no bairro Alto da XV. As Paredes externas foram construídas em alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e rebocadas dos dois lados. As divisórias internas são compostas por painéis de gesso acartonado, tipo *Dry Wall*. Lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

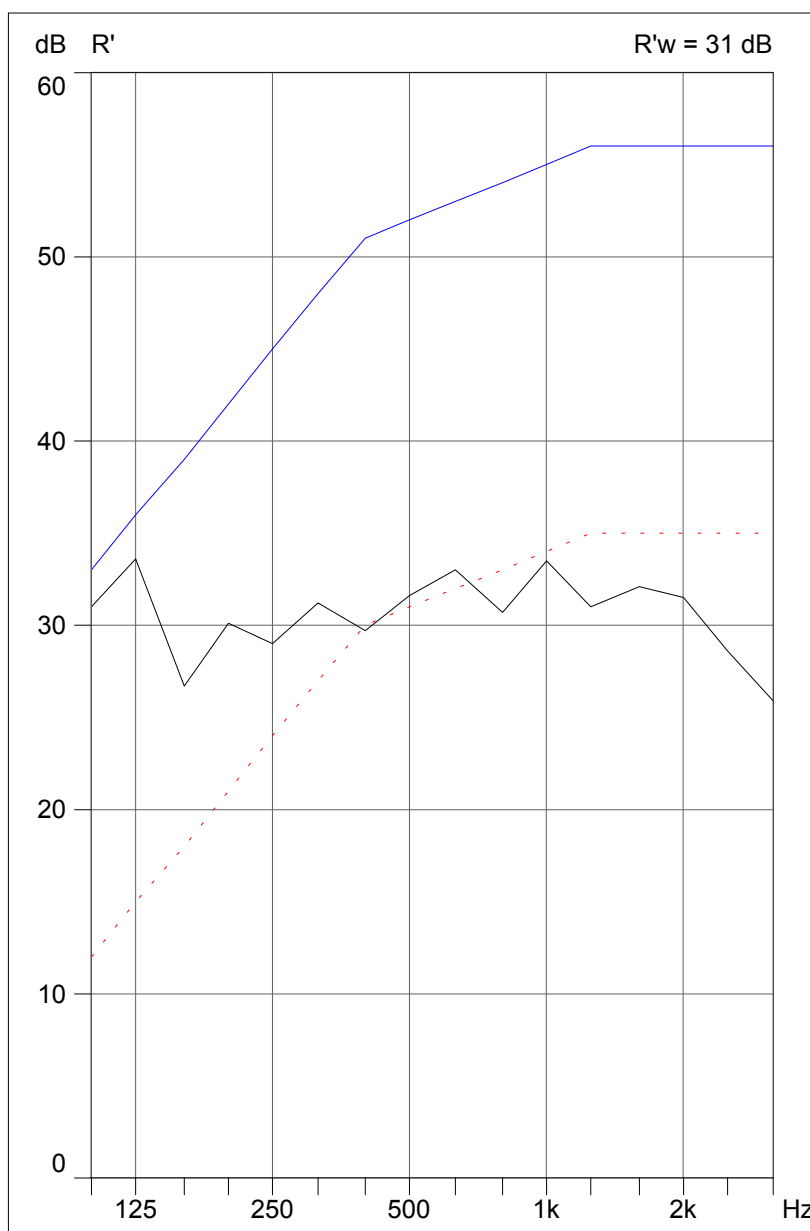


AMOSTRA 11

RESIDÊNCIA 5 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 31 \text{ dB(A)}$$

Residência situada no bairro Jardim Santa Bárbara. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

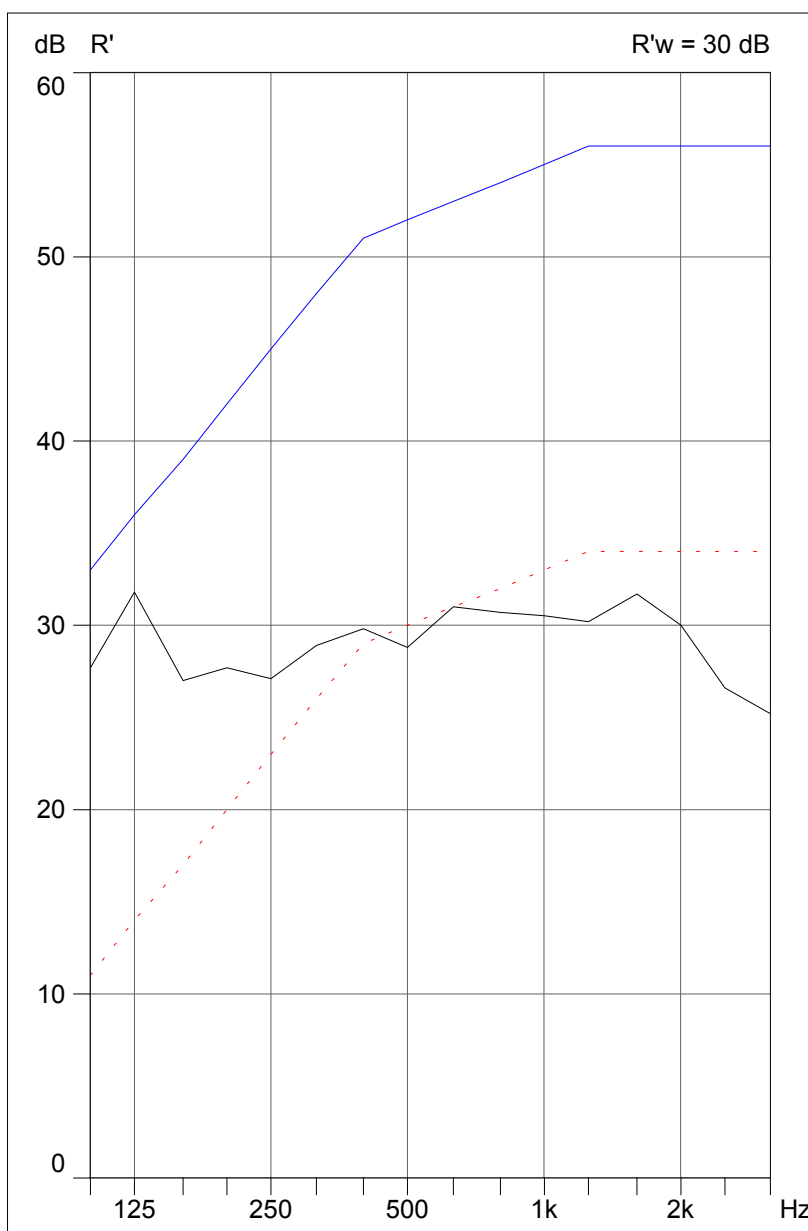


AMOSTRA 12

RESIDÊNCIA 5 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 30 \text{ dB(A)}$$

Residência situada no bairro Jardim Santa Bárbara. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

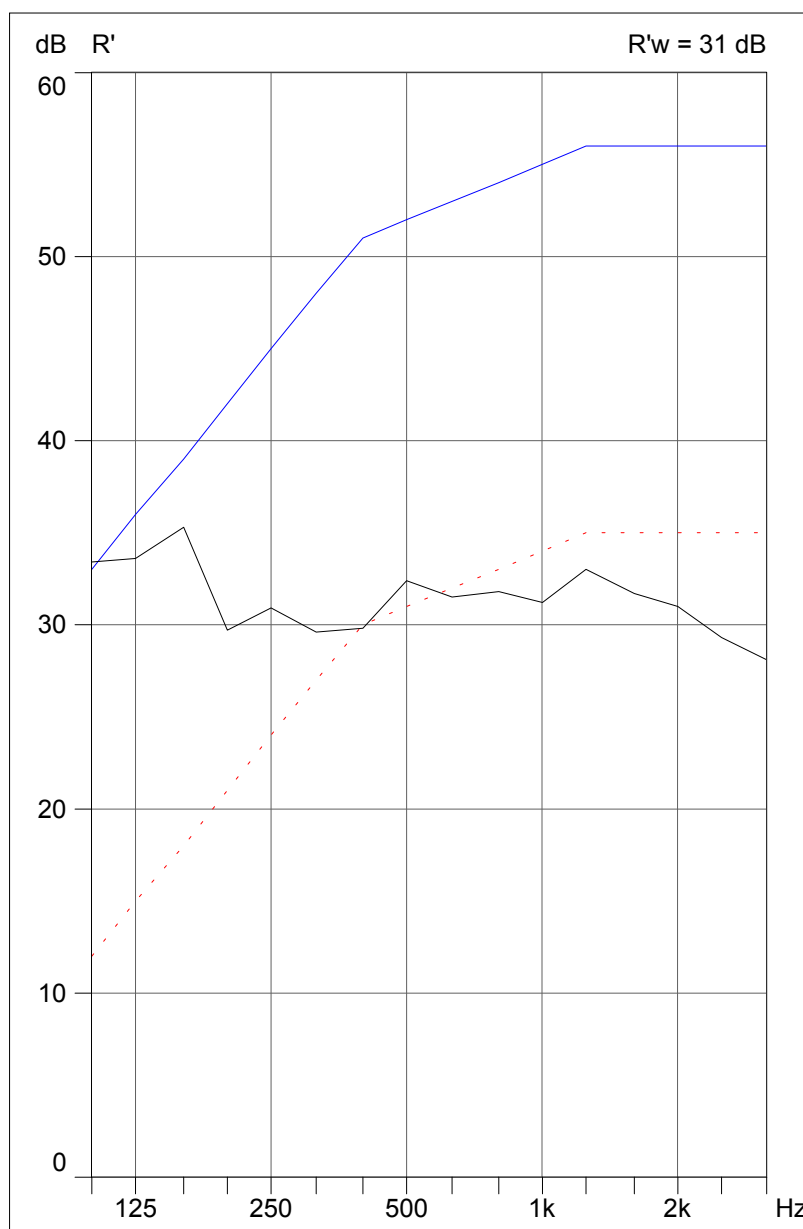


AMOSTRA 13

RESIDÊNCIA 5 – PARTIÇÃO 3

$$R'_w = 31 \text{ dB(A)}$$

Residência situada no bairro Jardim Santa Bárbara. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

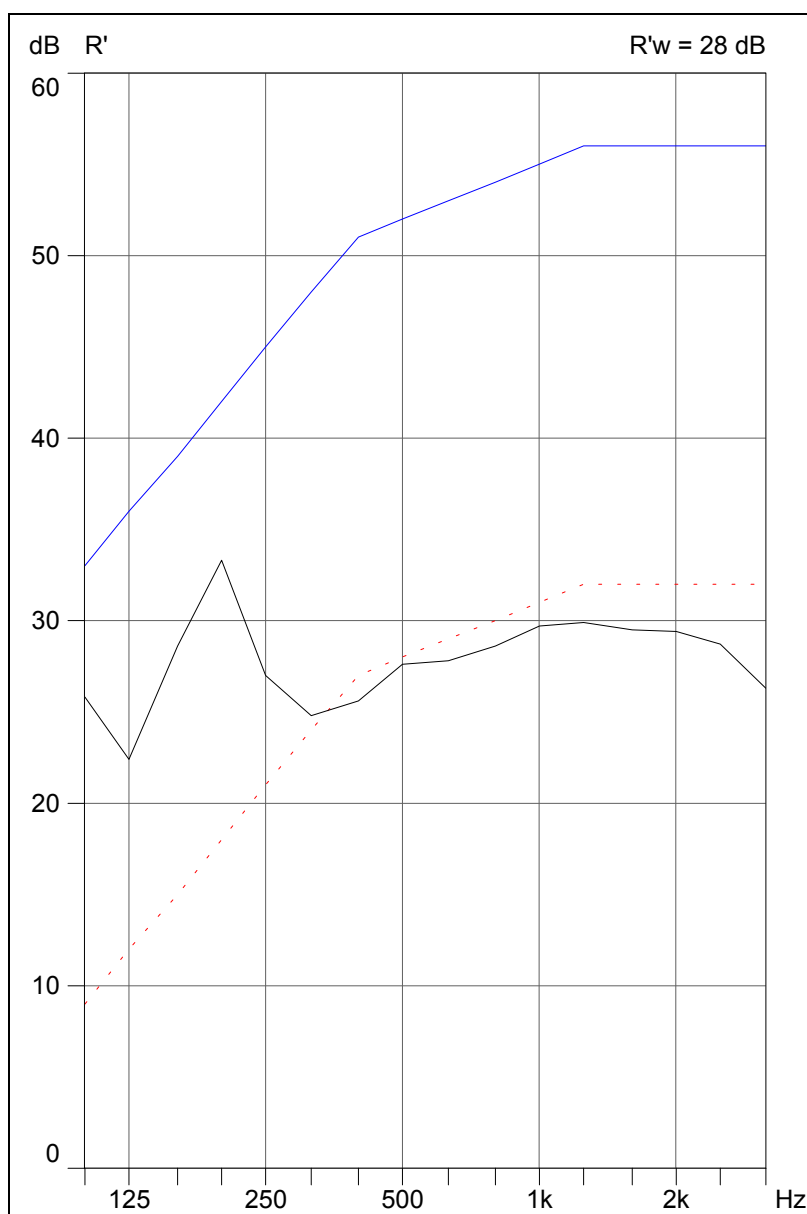


AMOSTRA 14

RESIDÊNCIA 6 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 28 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 4º andar de edifício no bairro Rebolsas. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

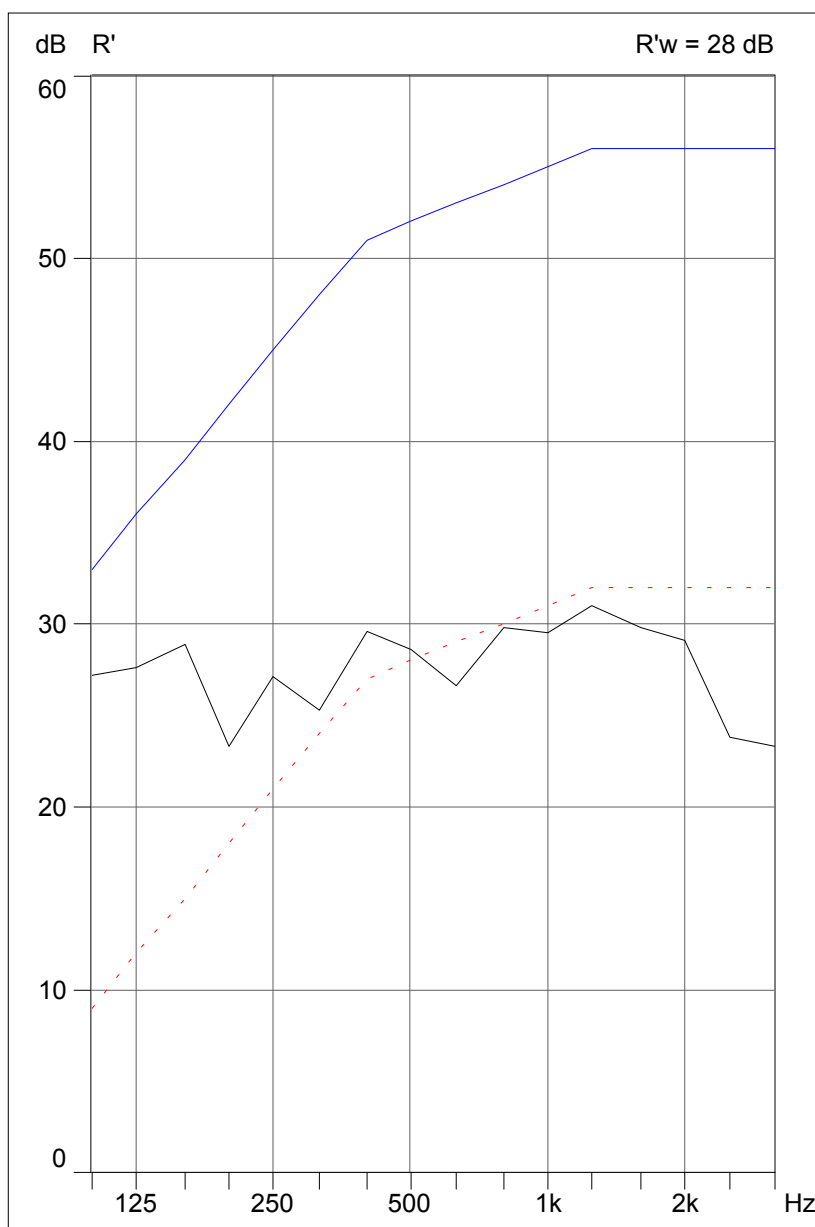


AMOSTRA 15

RESIDÊNCIA 7 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 28 \text{ dB(A)}$$

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

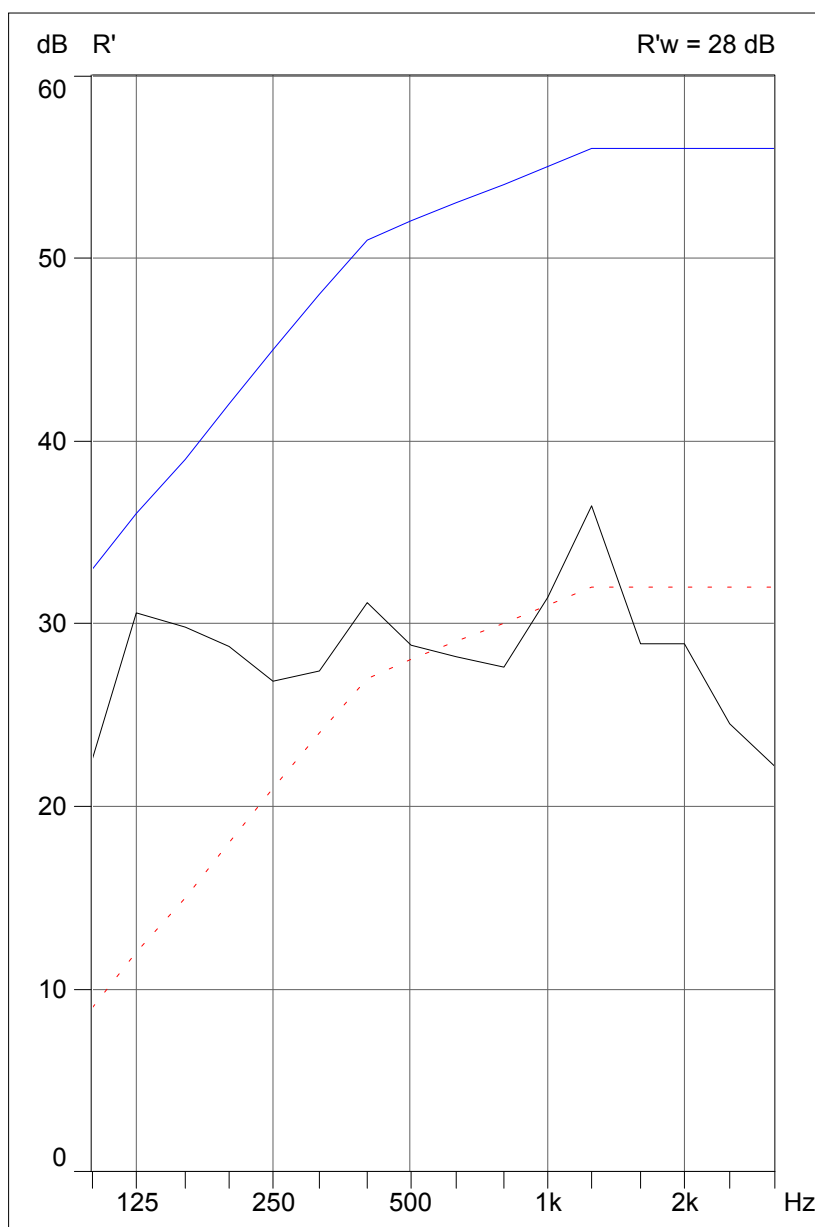


AMOSTRA 16

RESIDÊNCIA 7 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 28 \text{ dB(A)}$$

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

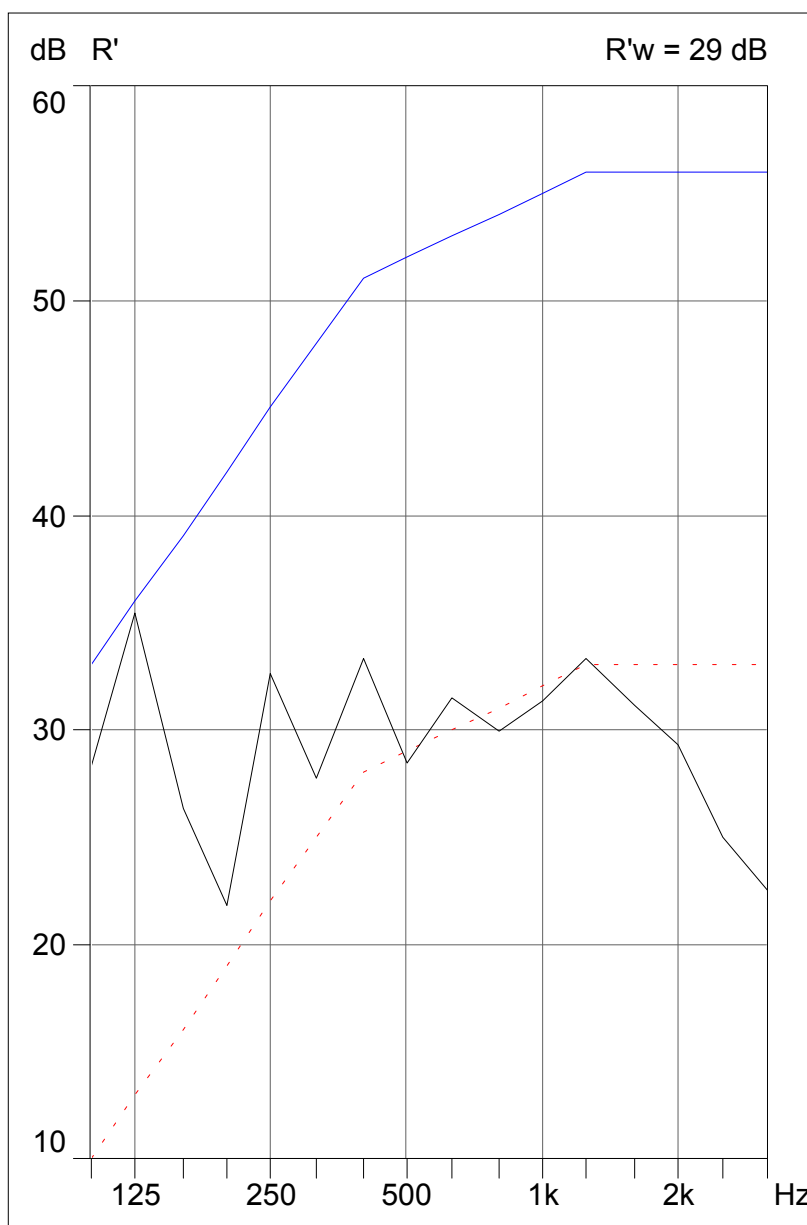


AMOSTRA 17

RESIDÊNCIA 7 – PARTIÇÃO 3

$$R'_w = 29 \text{ dB(A)}$$

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

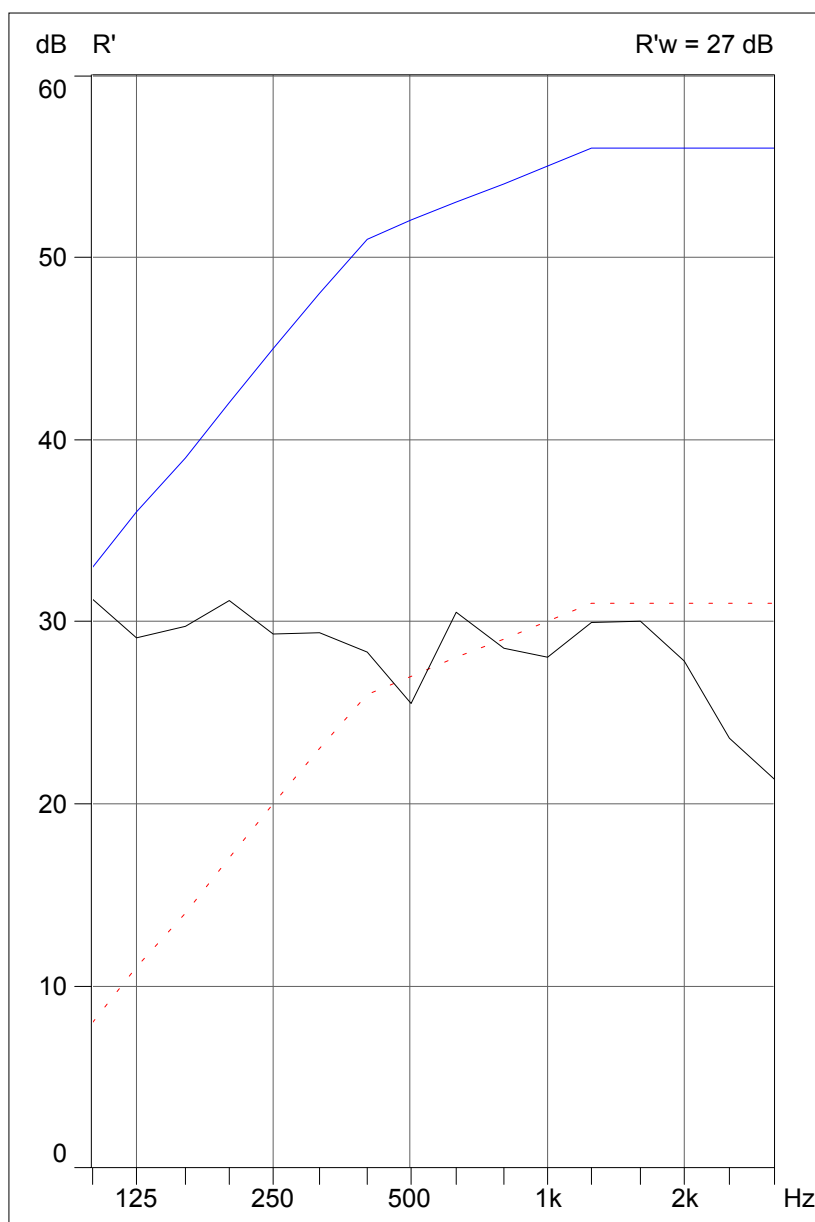


AMOSTRA 18

RESIDÊNCIA 7 – PARTIÇÃO 4

$$R'_w = 27 \text{ dB(A)}$$

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

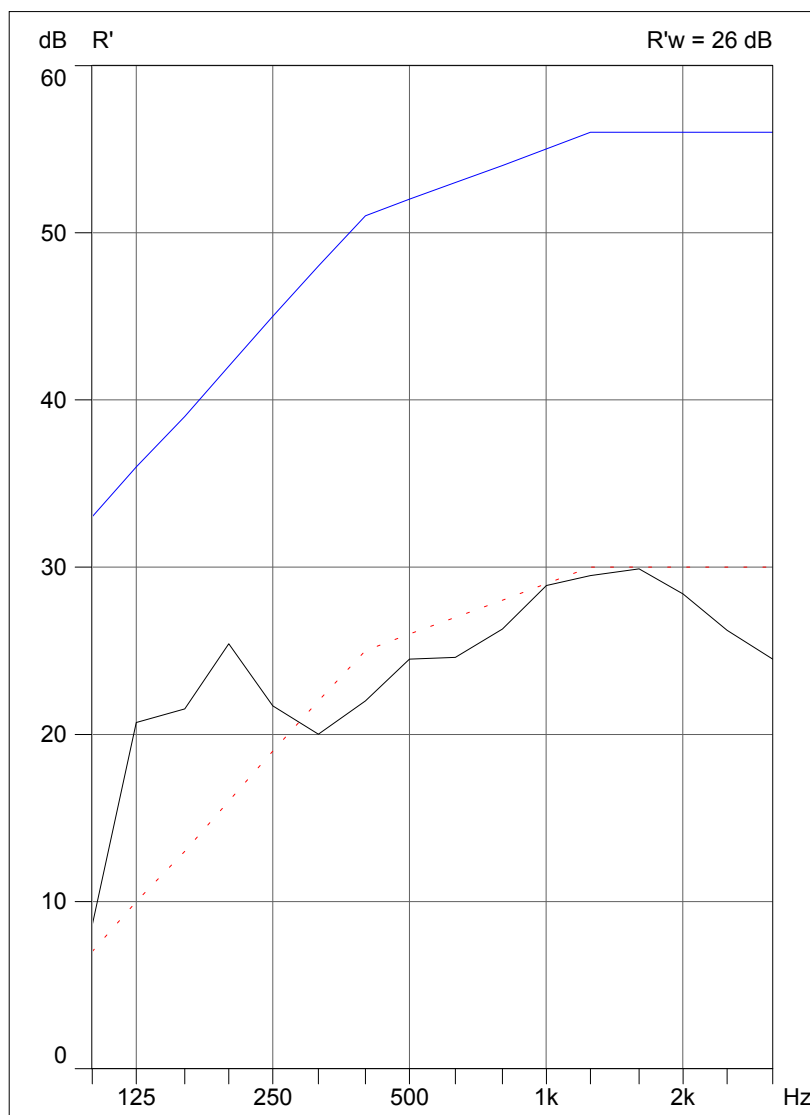


AMOSTRA 19

RESIDÊNCIA 8 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 26 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no pátio da Universidade Federal do Paraná, com a finalidade de ser avaliada e de servir de modelo para visitação. As paredes internas e externas são compostas por blocos de concreto com função estrutural, peso específico de 2.010 Kg/m^3 e que possuem as seguintes dimensões (14 x 19 x 39) cm. Todas as paredes possuem reboco dos dois lados. As portas da edificação são de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. O forro é de lambri de madeira, recoberto por telhas de concreto.

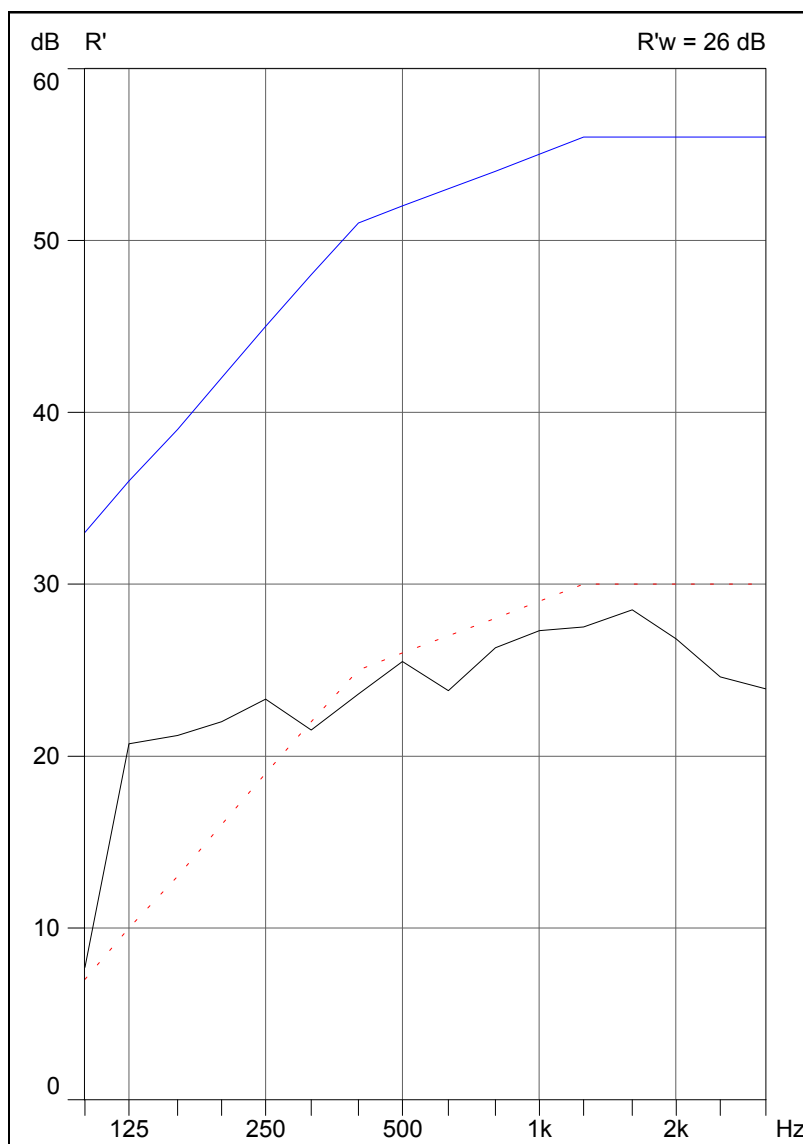


AMOSTRA 20

RESIDÊNCIA 8 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 26 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no pátio da Universidade Federal do Paraná, com a finalidade de ser avaliada e de servir de modelo para visitação. As paredes internas e externas são compostas por blocos de concreto com função estrutural, peso específico de 2.010 Kg/m^3 e que possuem as seguintes dimensões (14 x 19 x 39) cm. Todas as paredes possuem reboco dos dois lados. As portas da edificação são de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. O forro é de lambri de madeira recoberto por telhas de concreto.

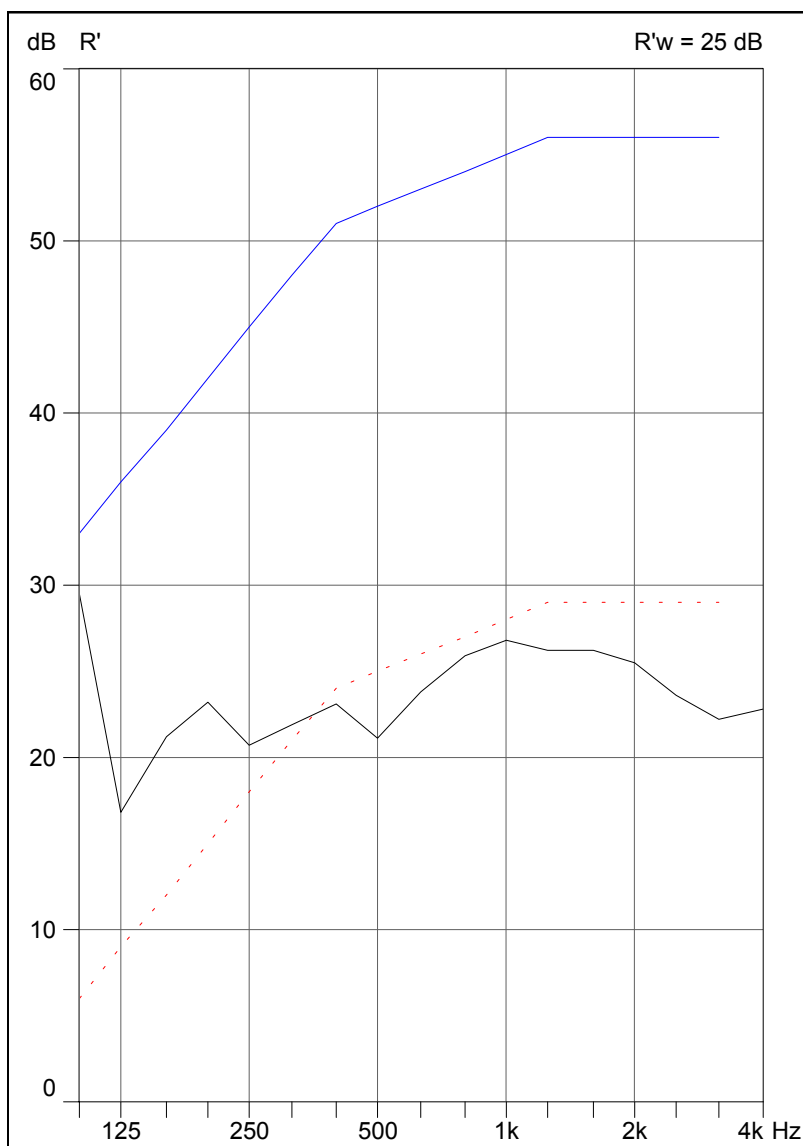


AMOSTRA 21

RESIDÊNCIA 8 – PARTIÇÃO 3

$$R'_w = 25 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no pátio da Universidade Federal do Paraná, com a finalidade de ser avaliada e de servir de modelo para visitação. As paredes internas e externas são compostas por blocos de concreto com função estrutural, peso específico de 2.010 Kg/m^3 e que possuem as seguintes dimensões (14 x 19 x 39) cm. Todas as paredes possuem reboco dos dois lados. As portas da edificação são de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. O forro é de lambri de madeira recoberto por telhas de concreto.

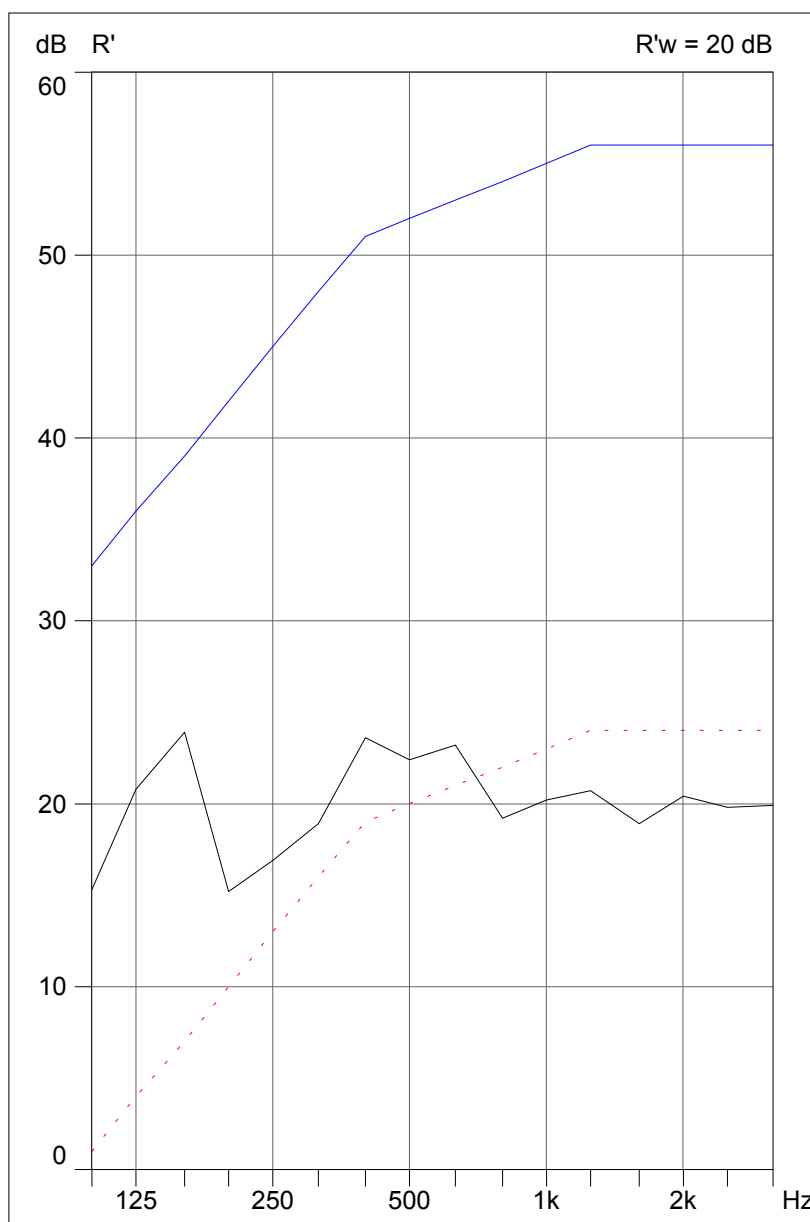


AMOSTRA 22

RESIDÊNCIA 9 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 20 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no bairro do Cajuru. Paredes construídas em madeira com 2,5 cm de espessura, forro de lambri de madeira e portas de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. As janelas são de madeira com vidros simples.

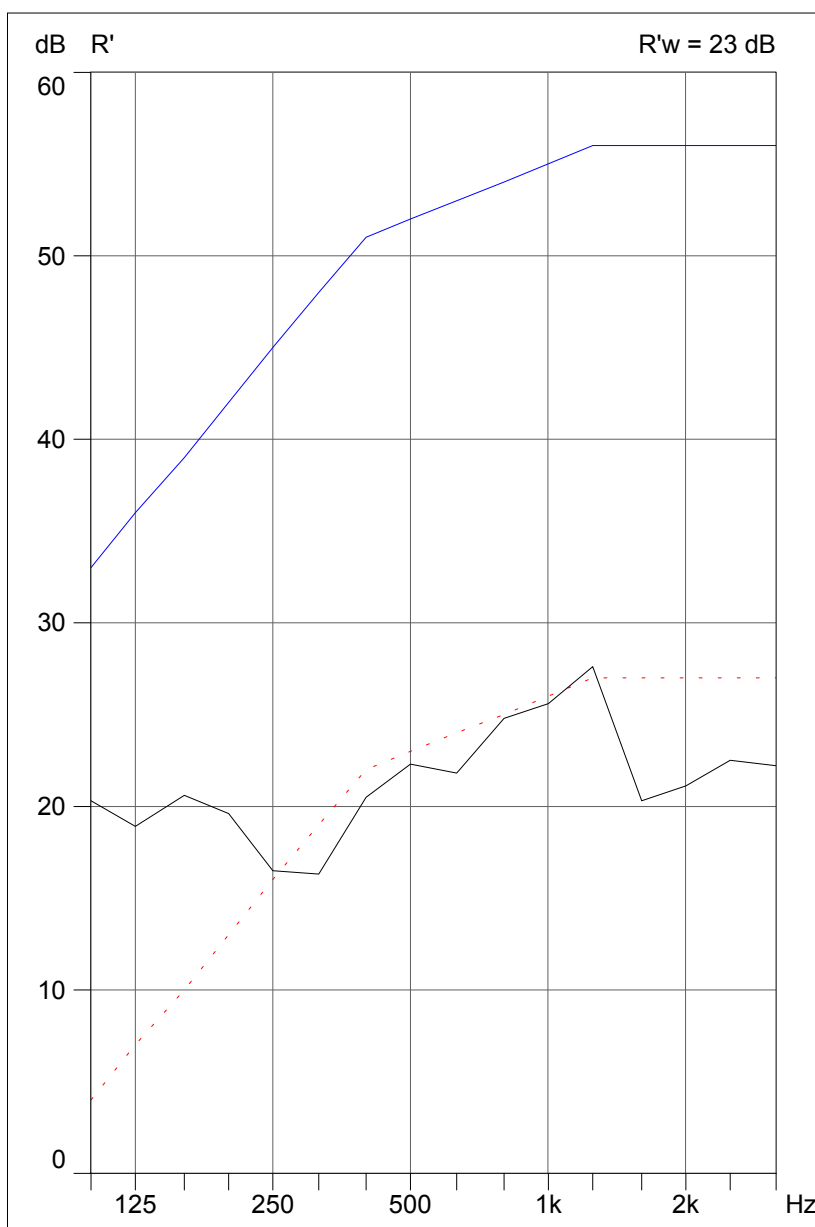


AMOSTRA 23

RESIDÊNCIA 9 – PARTIÇÃO 2

$$R'_w = 23 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no bairro do Cajuru. Paredes construídas em madeira com 2,5 cm de espessura, forro de lambri de madeira e portas de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. As janelas são de madeira com vidros simples.

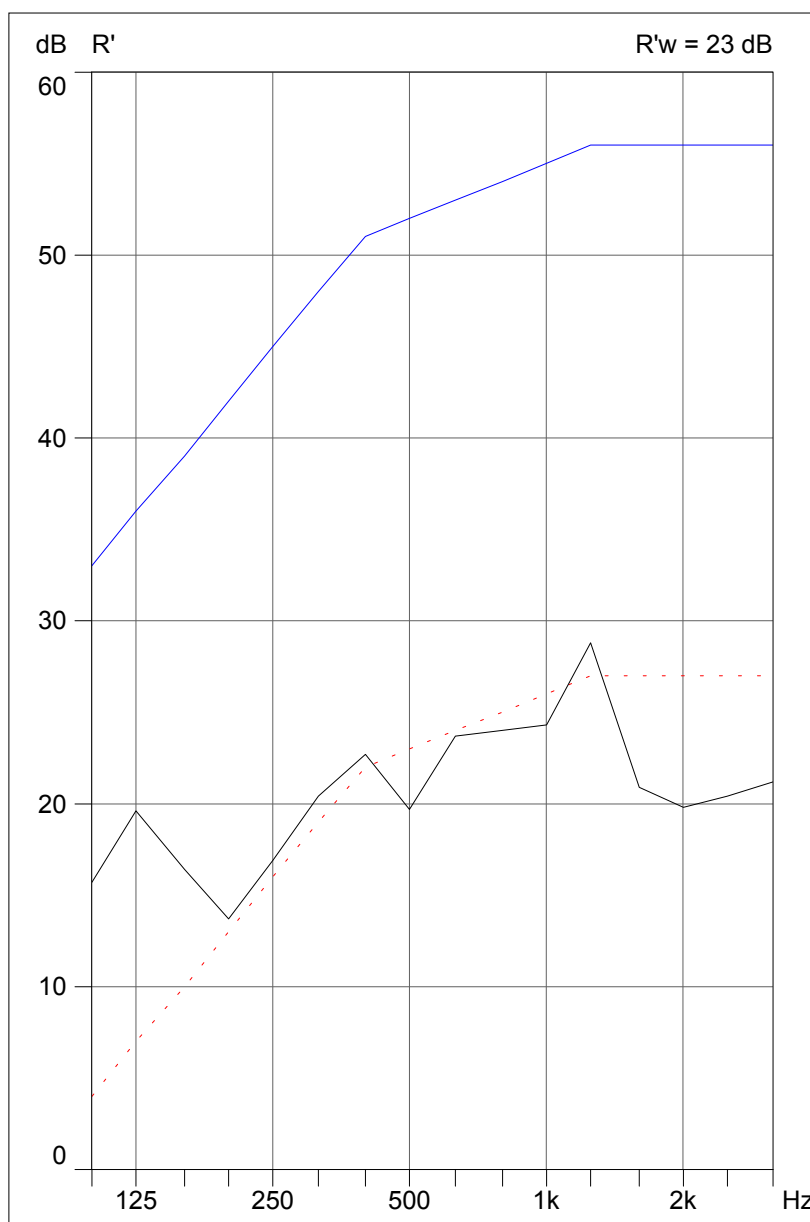


AMOSTRA 24

RESIDÊNCIA 9 – PARTIÇÃO 3

$$R'_w = 23 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no bairro do Cajuru. Paredes construídas em madeira com 2,5 cm de espessura, forro de lambri de madeira e portas de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. As janelas são de madeira com vidros simples.

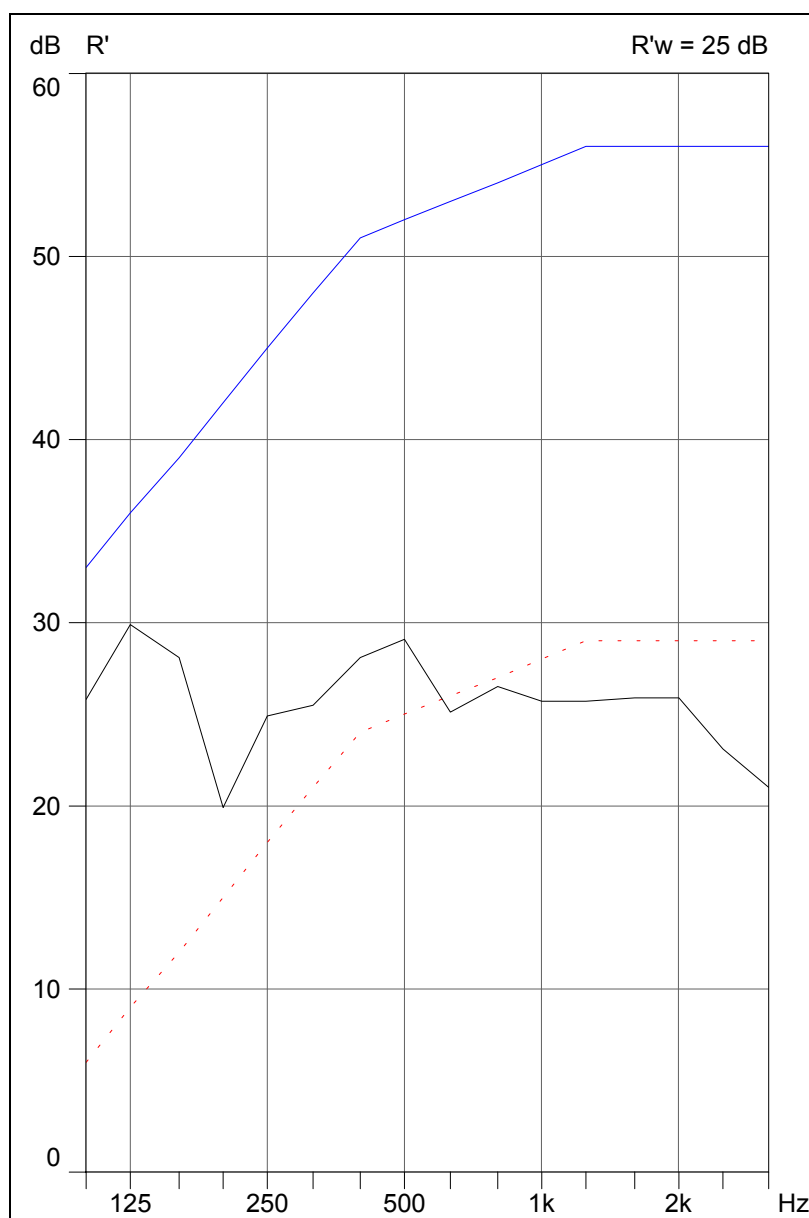


AMOSTRA 25

RESIDÊNCIA 10 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 25 \text{ dB(A)}$$

Casa experimental construída no bairro Sítio Cercado, dentro da Vila Tecnológica. Paredes de madeira com revestimento externo em *Blockboard*, forro em pinho com encaixe tipo macho e fêmea, portas de madeira. As janelas são de aço de correr com vidro simples.

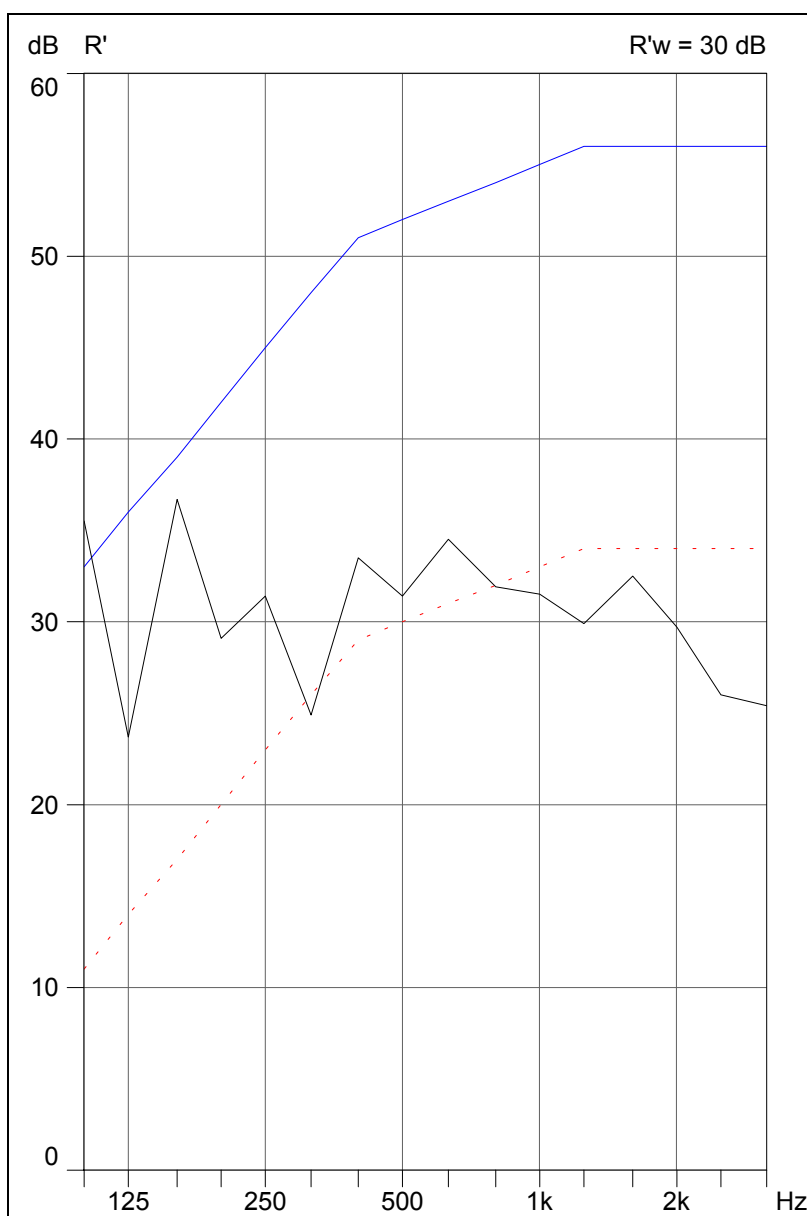


AMOSTRA 26

RESIDÊNCIA 11 – PARTIÇÃO 1

$$R'_w = 30 \text{ dB(A)}$$

Casa experimental construída no bairro Sítio Cercado, dentro da Vila Tecnológica. Paredes com núcleo de poliestireno expandido, envolto em telas de aço e argamassa projetada, forro em pinho com encaixe tipo macho e fêmea e portas de madeira. As janelas são de ferro de correr com vidros simples.



APÊNDICE II

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NAS FACHADAS DOS COEFICIENTES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO, MEDIDOS EM CAMPO, EM BANDAS DE FREQUÊNCIA DE 1/3 DE OITAVA E EM FORMA DE NUMERO ÚNICO:

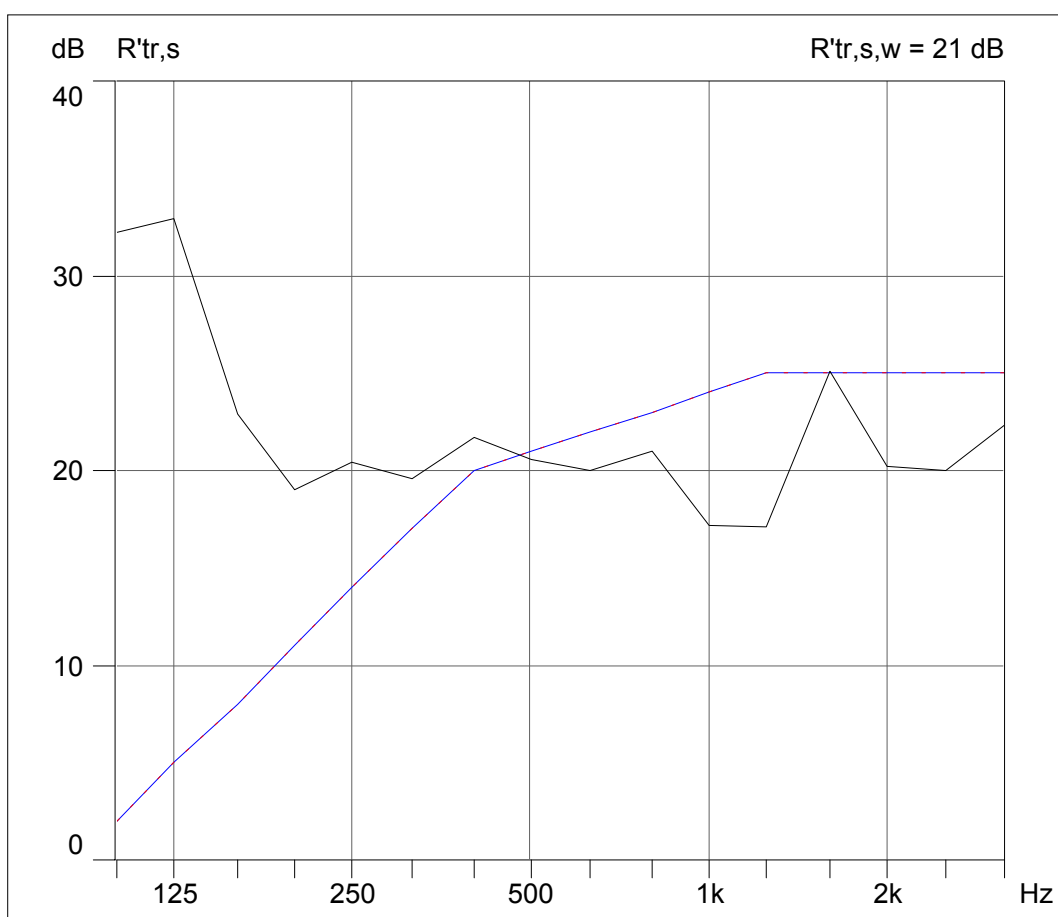
AMOSTRA	RESIDÊNCIA	PARTIÇÃO
1	1	5
2	2	3
3	2	4
4	2	5
5	3	2
6	3	3
7	4	4
8	5	4
9	6	2
10	6	3
11	7	5
12	7	6
13	8	4
14	8	5
15	9	4
16	10	2
17	11	2

AMOSTRA 1

RESIDÊNCIA 1 – PARTIÇÃO 5

$$R'_{tr,s,w} = 21\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 9º andar do edifício Riviéra, situado no Bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

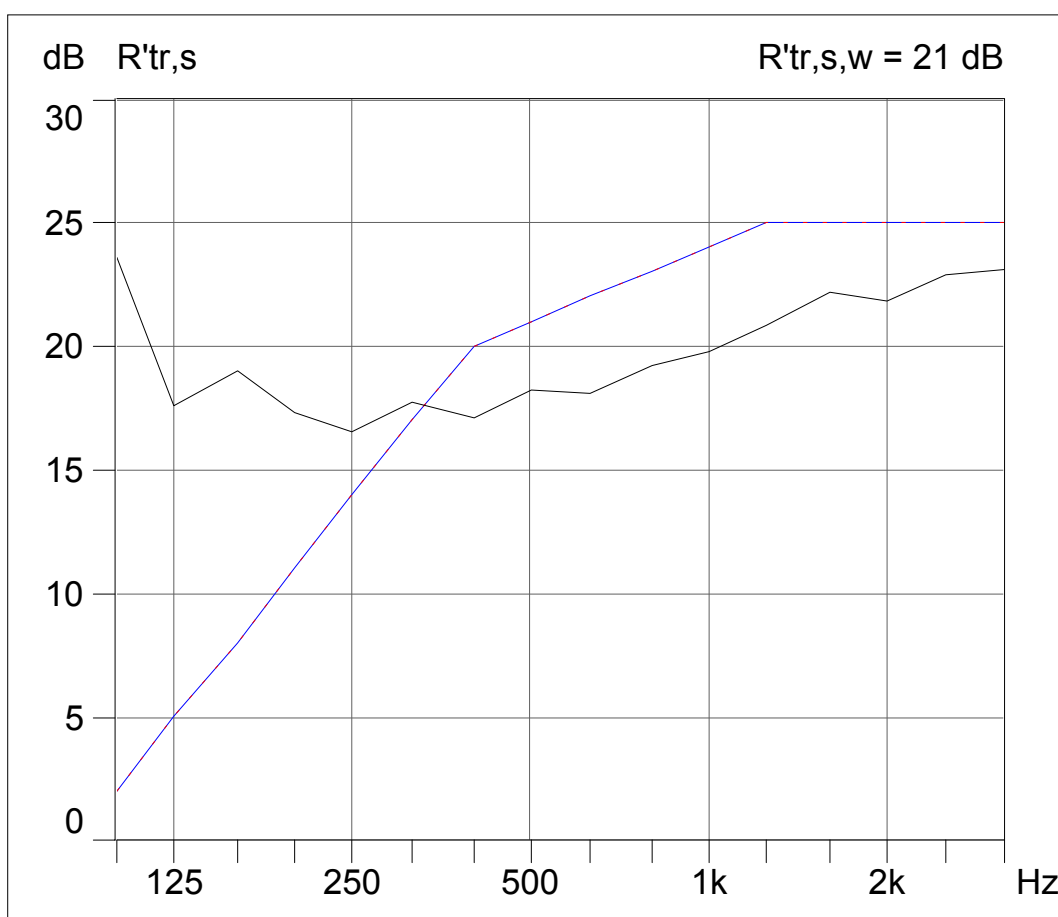


AMOSTRA 2

Residência 2 – partição 3

$$R'_{tr,s,w} = 21\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 17º andar do edifício Bouganville, situado no Centro. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

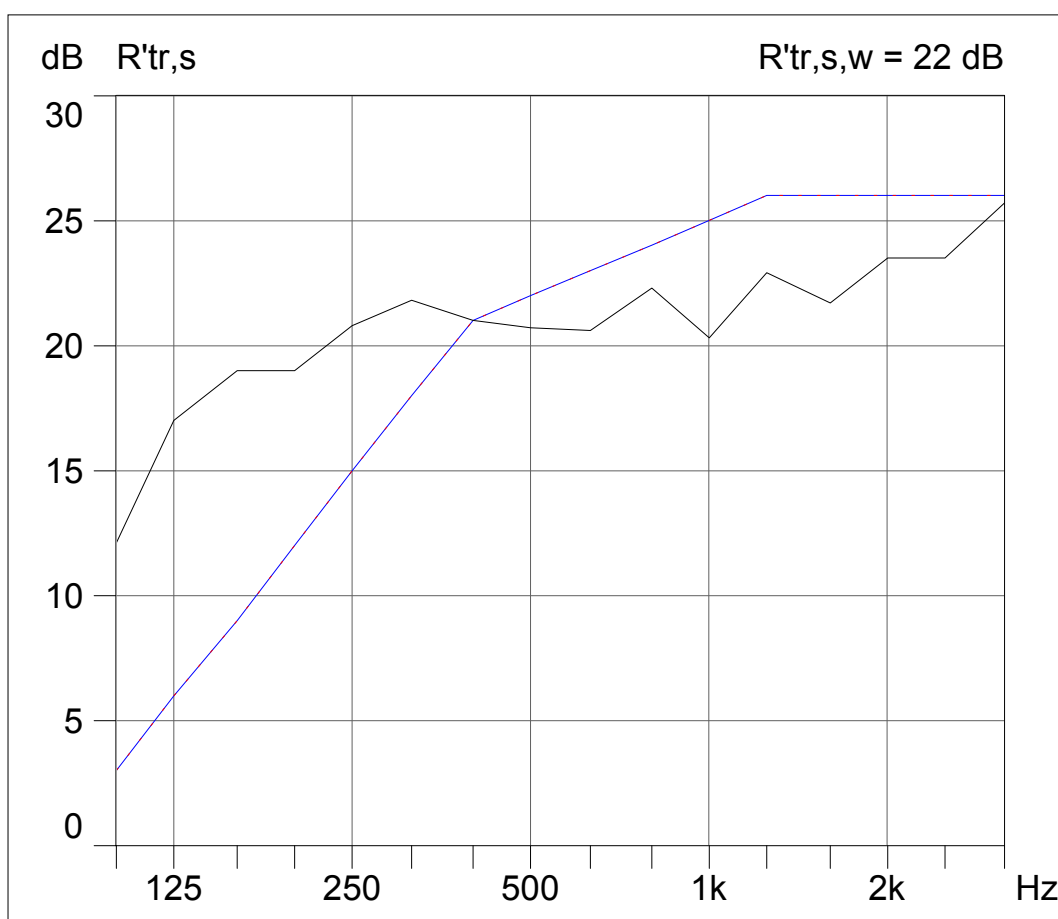


AMOSTRA 3

RESIDÊNCIA 2 – PARTIÇÃO 4

$$R'_{tr,s,w} = 22\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 17º andar do edifício Bouganville, situado no Centro. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

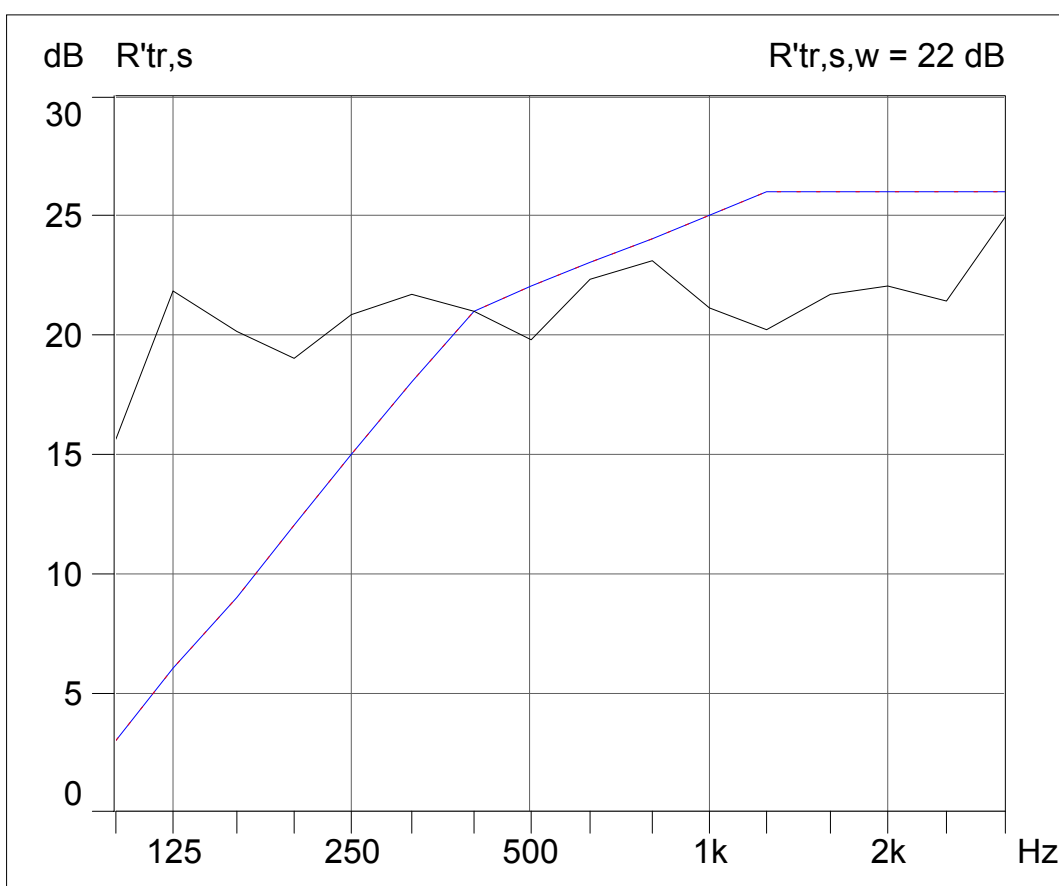


AMOSTRA 4

RESIDÊNCIA 2 – PARTIÇÃO 5

$$R'_{tr,s,w} = 22\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 17º andar do edifício Bouganville, situado no Centro. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

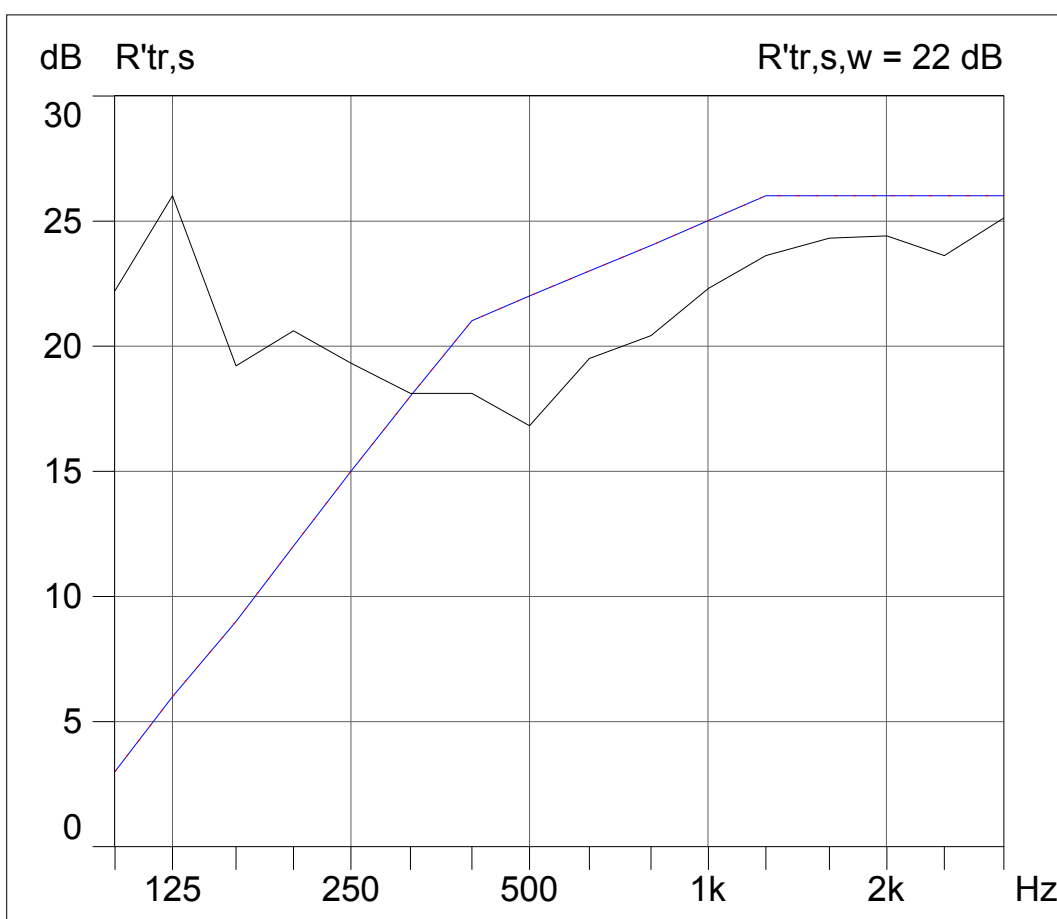


AMOSTRA 5

RESIDÊNCIA 3 – PARTIÇÃO 2

$$R'_{tr,s,w} = 22\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício Notre Dame, situado no bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

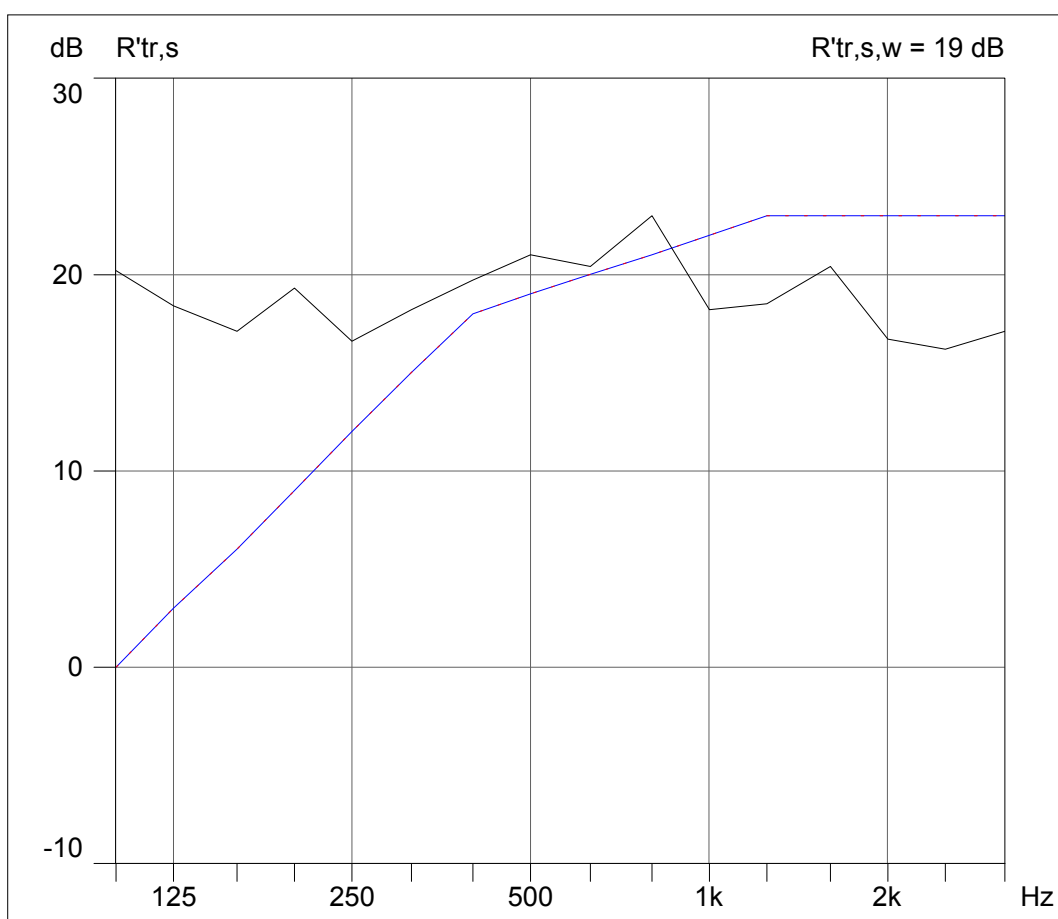


AMOSTRA 6

RESIDÊNCIA 3 – PARTIÇÃO 3

$$R'_{tr,s,w} = 22\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício Notre Dame, situado no bairro Batel. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

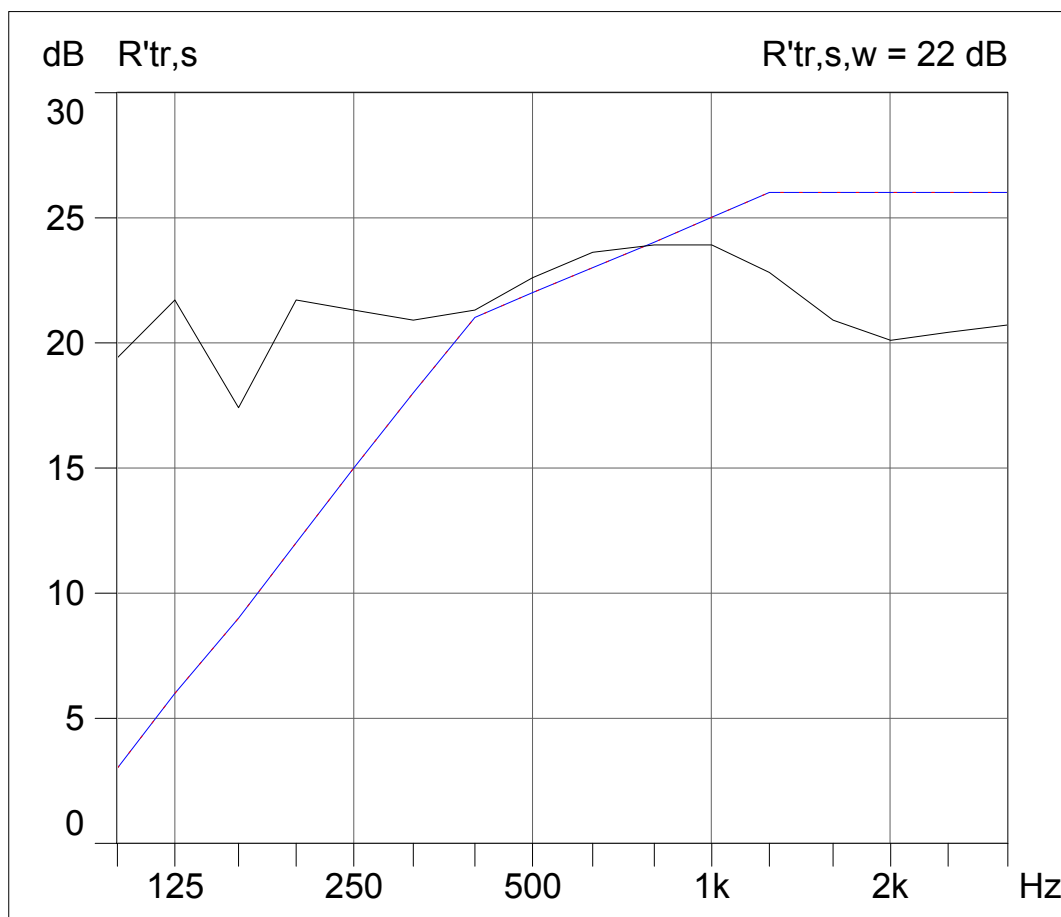


AMOSTRA 7

RESIDÊNCIA 4 – PARTIÇÃO 4

$$R'_{tr,s,w} = 22\text{dB(A)}$$

Apartamento localizado no 8º andar do edifício La Vie em Rose, situado no bairro Alto da XV. As Paredes externas foram construídas em alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e rebocadas dos dois lados. As divisórias internas são compostas por painéis de gesso acartonado, tipo *Dry Wall*. Lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

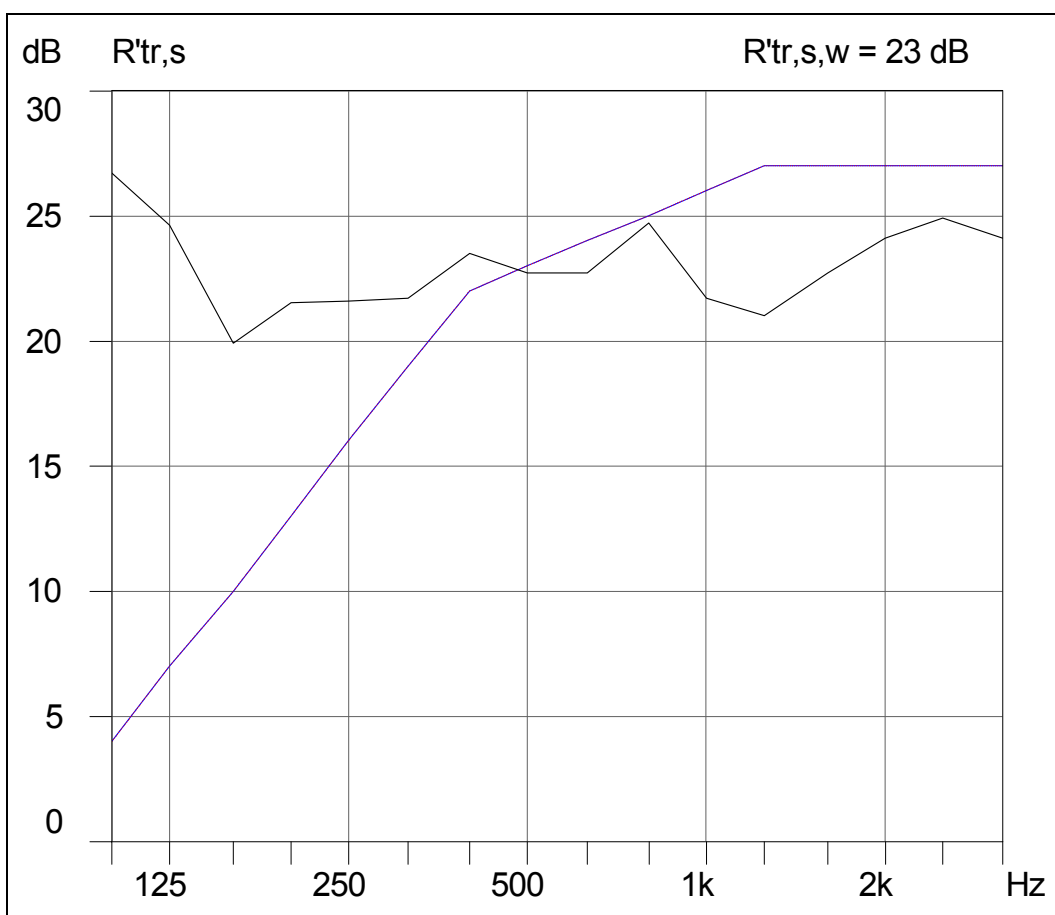


AMOSTRA 8

RESIDÊNCIA 5 – PARTIÇÃO 4

$$R'_{tr,s,w} = 23\text{dB(A)}$$

Residência situada no bairro Jardim Santa Bárbara. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

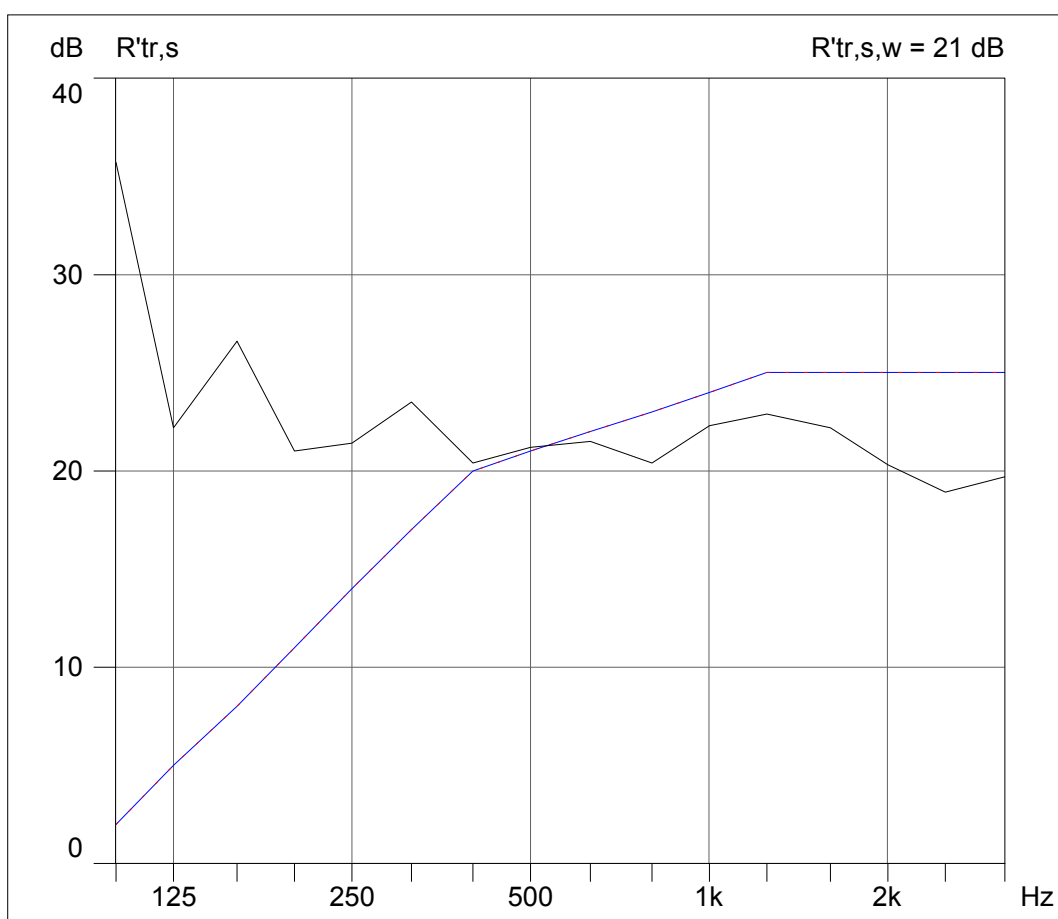


AMOSTRA 9

RESIDÊNCIA 6 – PARTIÇÃO 2

$$R'_{tr,s,w} = 21 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 4º andar de edifício no bairro Rebolsas. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

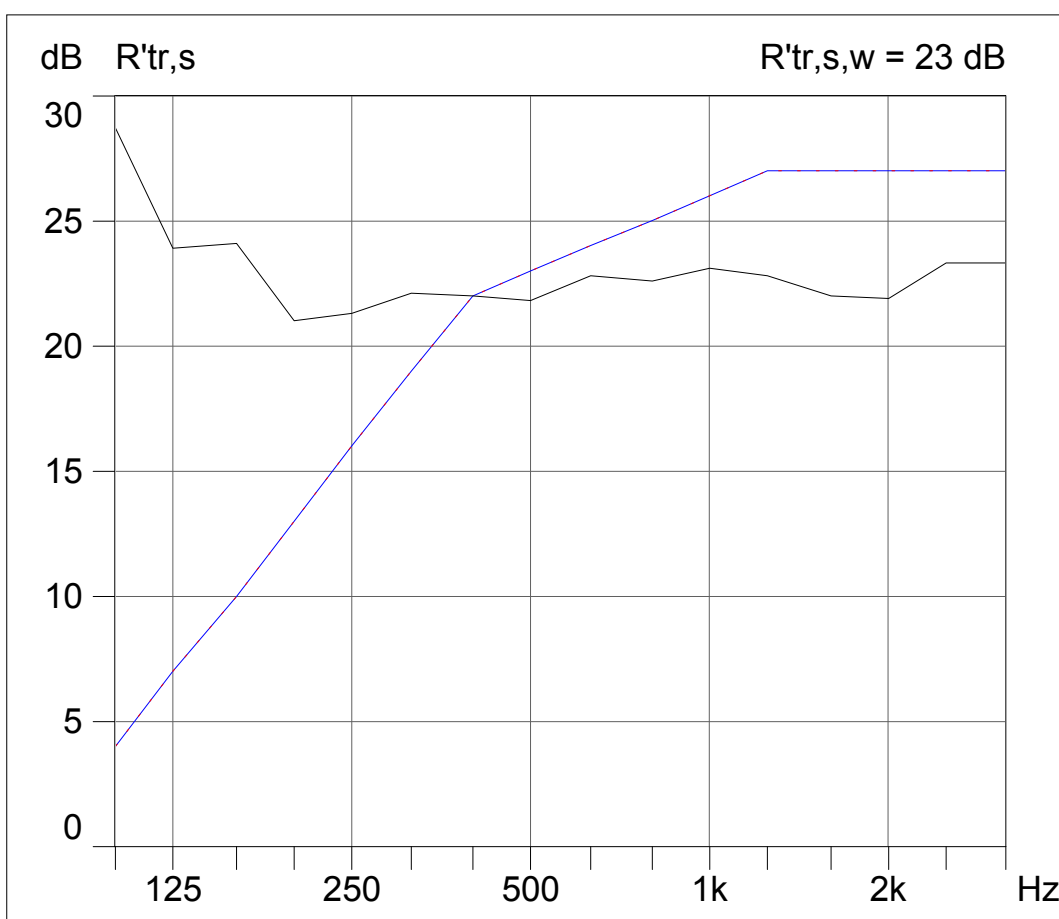


AMOSTRA 10

RESIDÊNCIA 6 – PARTIÇÃO 3

$$R'_{tr,s,w} = 23 \text{ dB(A)}$$

Apartamento localizado no 4º andar de edifício no bairro Rebolsas. Paredes externas compostas por alvenaria de tijolos de 6 furos deitados e paredes internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

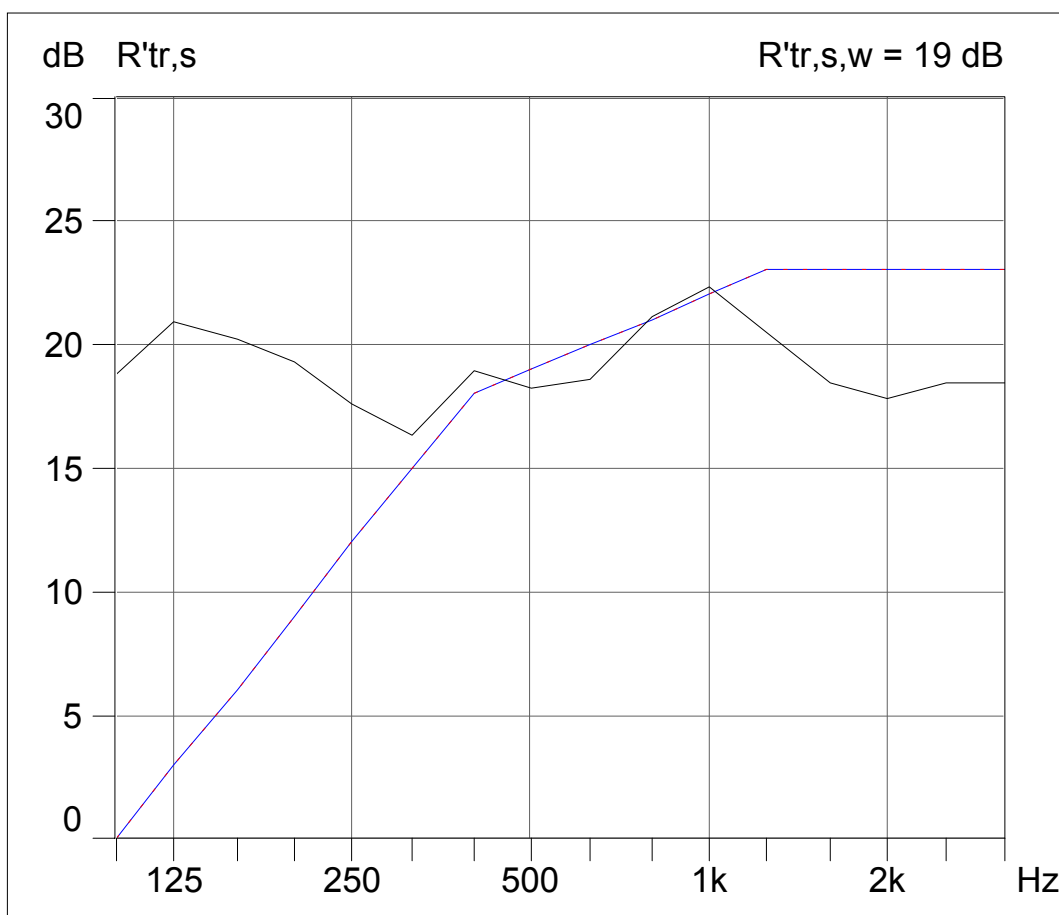


AMOSTRA 11

RESIDÊNCIA 7 – PARTIÇÃO 5

$$R'_{tr,s,w} = 19 \text{ dB(A)}$$

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

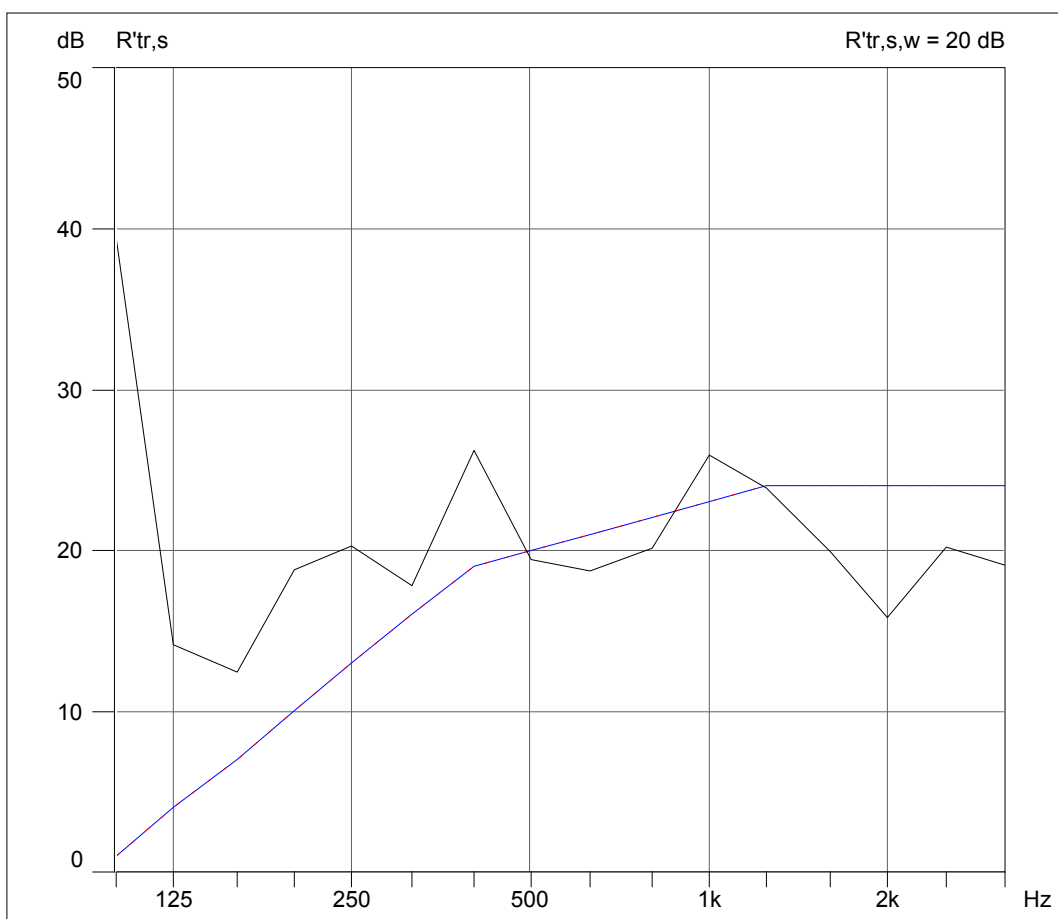


AMOSTRA 12

RESIDÊNCIA 7 – PARTIÇÃO 6

$$R'_{tr,s,w} = 20 \text{ dB(A)}$$

Sobrado geminado situado no bairro Santa Cândida. Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos de 6 furos em pé, ambas com reboco dos dois lados, lajes de concreto e portas internas de compensado de madeira, com espessura de 35 mm. As janelas possuem esquadrias de alumínio e vidros simples.

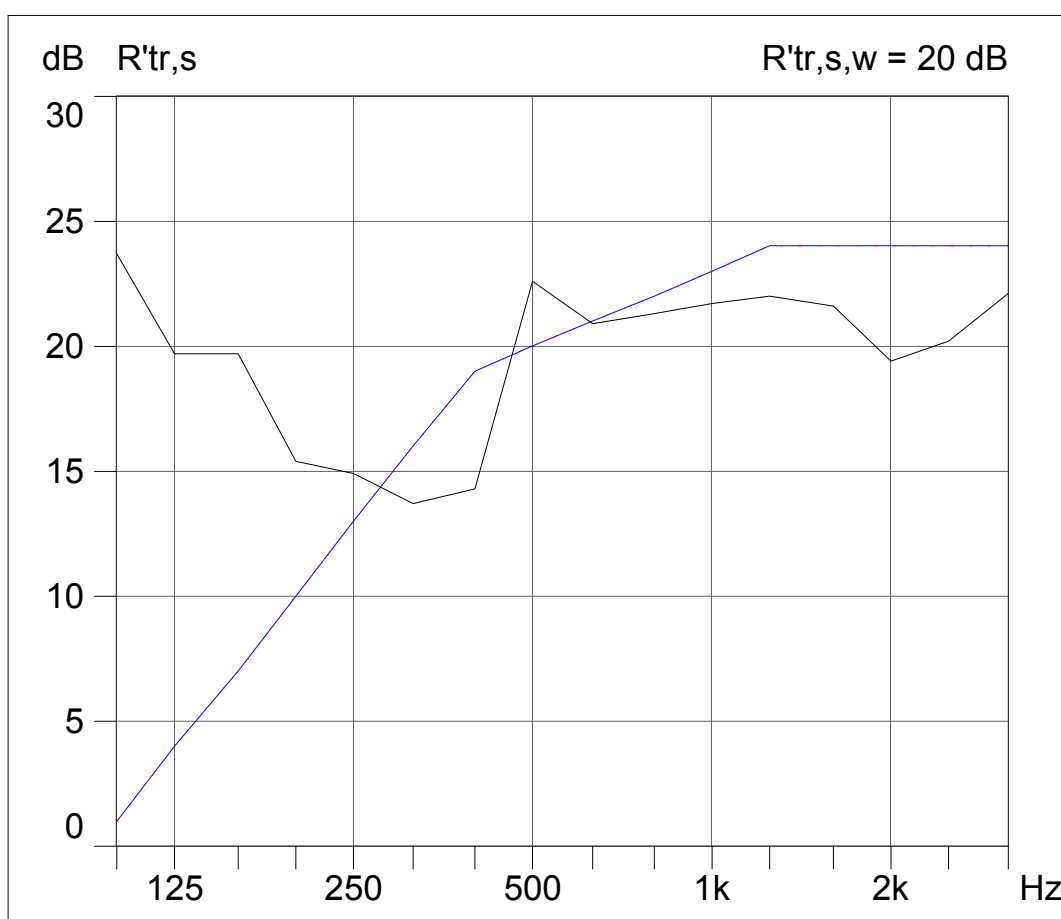


AMOSTRA 13

RESIDÊNCIA 8 – PARTIÇÃO 4

$$R'_{tr,s,w} = 20 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no pátio da Universidade Federal do Paraná, com a finalidade de ser avaliada e de servir de modelo para visitação. As paredes internas e externas são compostas por blocos de concreto com função estrutural, peso específico de 2.010 Kg/m^3 e que possuem as seguintes dimensões (14 x 19 x 39) cm. Todas as paredes possuem reboco dos dois lados. As portas da edificação são de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. O forro é de lambri de madeira recoberto por telhas de concreto.

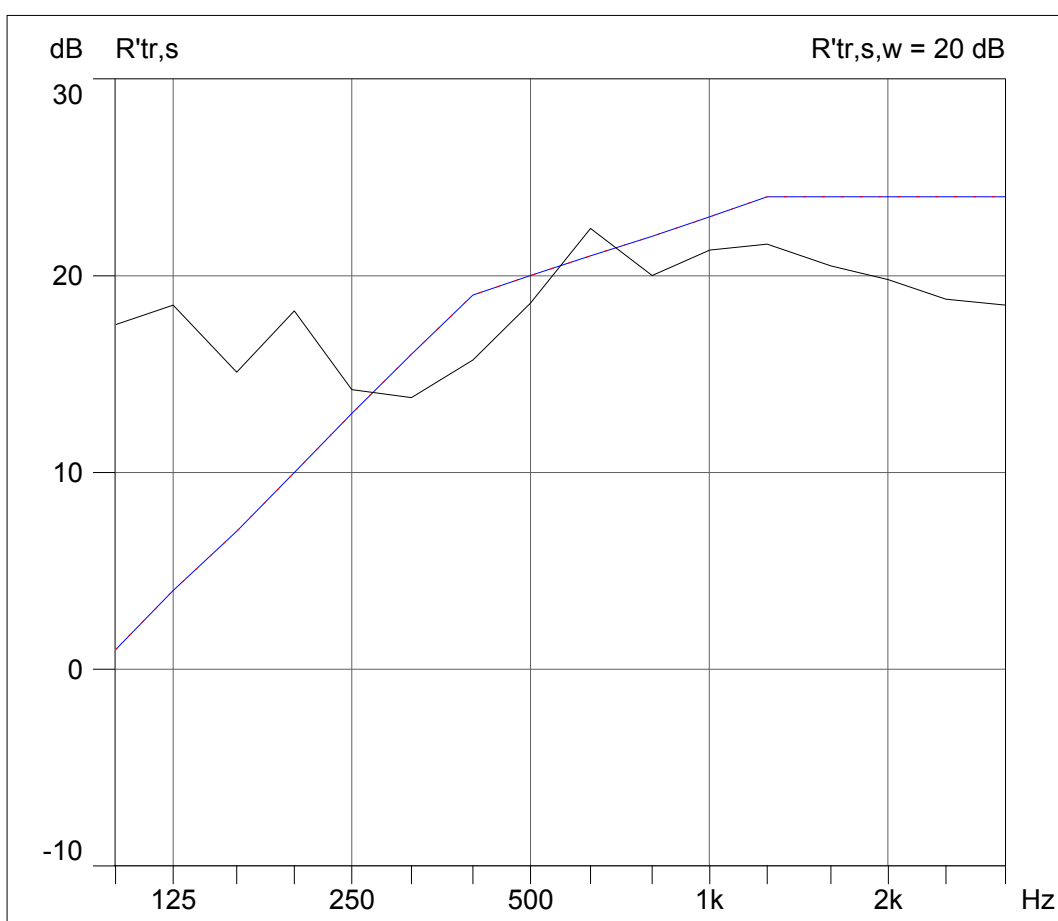


AMOSTRA 14

RESIDÊNCIA 8 – PARTIÇÃO 5

$$R'_{tr,s,w} = 20 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no pátio da Universidade Federal do Paraná, com a finalidade de ser avaliada e de servir de modelo para visitação. As paredes internas e externas são compostas por blocos de concreto com função estrutural, peso específico de 2.010 Kg/m^3 e que possuem as seguintes dimensões (14 x 19 x 39) cm. Todas as paredes possuem reboco dos dois lados. As portas da edificação são de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. O forro é de lambri de madeira recoberto por telhas de concreto.

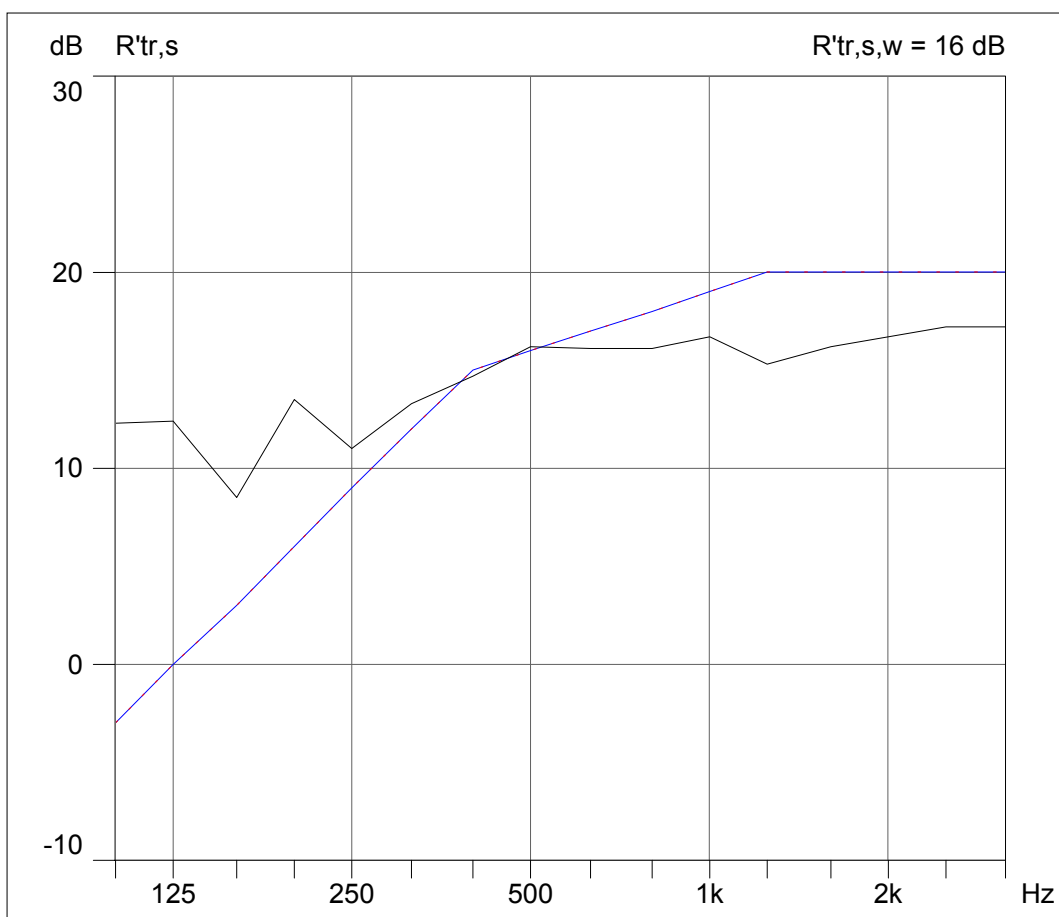


AMOSTRA 15

RESIDÊNCIA 9 – PARTIÇÃO 4

$$R'_{tr,s,w} = 16 \text{ dB(A)}$$

Casa edificada no bairro do Cajuru. Paredes construídas em madeira com 2,5 cm de espessura, forro de lambri de madeira e portas de compensado de madeira, com 35 mm de espessura. As janelas são de madeira com vidros simples.

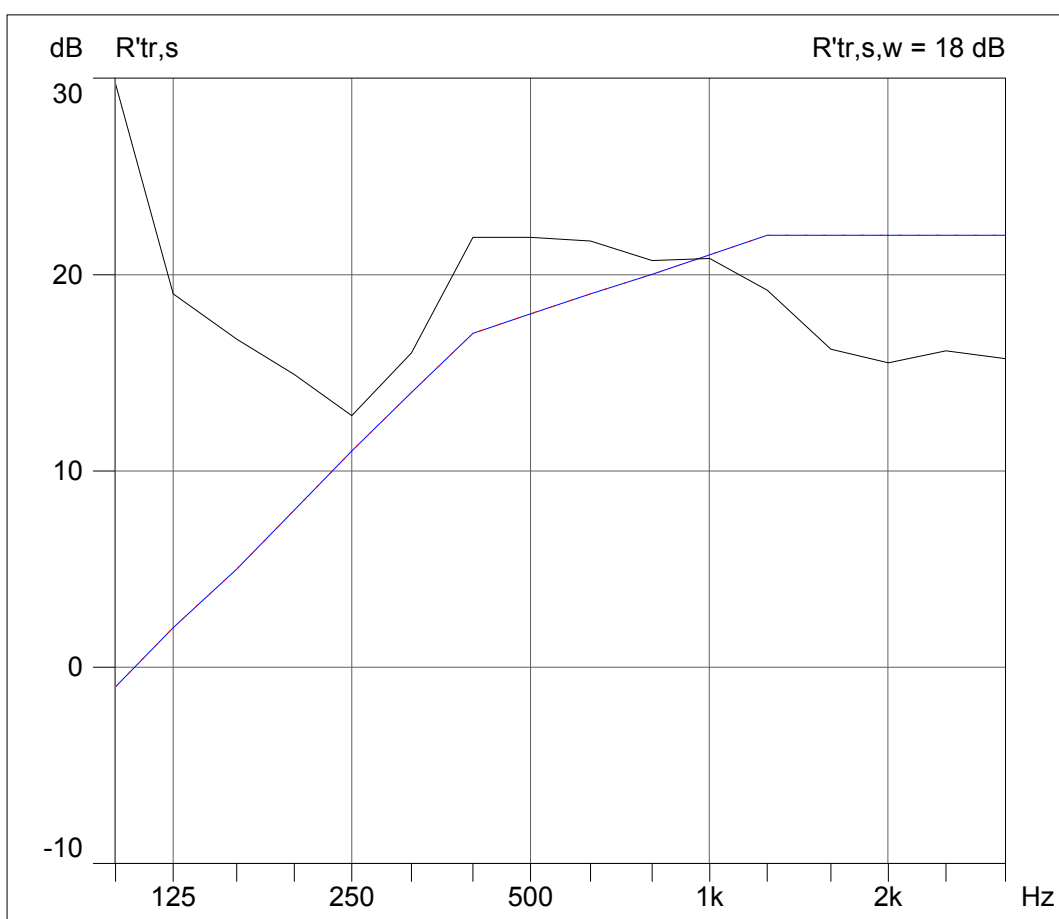


AMOSTRA 16

RESIDÊNCIA 10 – PARTIÇÃO 2

$$R'_{tr,s,w} = 18 \text{ dB(A)}$$

Casa experimental construída no bairro Sítio Cercado, dentro da vila tecnológica. Paredes de madeira, com revestimento externo em *Blockboard*, forro em pinho com encaixe tipo macho e fêmea, portas de madeira. As janelas são de aço de correr com vidro simples.



AMOSTRA 17

RESIDÊNCIA 11 – PARTIÇÃO 2

$$R'_{tr,s,w} = 18 \text{ dB(A)}$$

Casa experimental construída no bairro Sítio Cercado, dentro da vila tecnológica. Paredes com núcleo de poliestireno expandido envolto em telas de aço e argamassa projetada, forro em pinho com encaixe tipo macho e fêmea e portas de madeira. As janelas são de ferro de correr com vidros simples.

